

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TRANSFORMATÖRLERİN KISA SÜRELİ GERİLİM
SARKMALARINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet ÇEÇEN

Enstitü Anabilim Dalı : **ELEKTRİK-ELEKTRONİK
MÜHENDİSLİĞİ**
Enstitü Bilim Dalı : **ELEKTRİK**
Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Ertan YANIKOĞLU**

Mayıs 2015

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TRANSFORMATÖRLERİN KISA SÜRELİ GERİLİM
SARKMALARINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

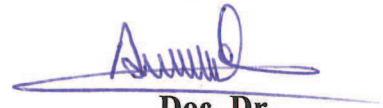
Mehmet ÇEÇEN

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK
MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRİK

Bu tez 18/05/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr.
Ertan YANIKOĞLU


Doç. Dr.
Mehmet BAYRAK


Doç. Dr.
Ali ÖZTÜRK

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Mehmet ÇEÇEN

09.04.2015

ÖNSÖZ

Serbest piyasanın bir ürünü olarak kabul edilen elektrik, ilgili kalite standartlarına uygun olmalıdır. Dağıtım sistemlerindeki elektriğin kalitesi; iletim sistemi, generatörler ve dağıtım sistemine doğrudan bağlı olan kullanıcıların elektrik kalitesiyle ilişkilidir. Güç sistemlerinde kalite sorunu ise, gerilim, akım ve frekanstaki herhangi bir değişim ile tespit edilen problemin, kullanıcının sisteminde bir arıza veya istenmeyen bir çalışma şeklini oluşturmasıdır. Yeni nesil güç ekipmanlarının eskilerine göre güç kalite değişimlerine daha duyarlı olmaları, bütün güç sisteminin verimini arttırmak için kullanılan yüksek verimli ve hassas cihazlar nedeniyle sistemin sürekli büyümesi bir takım problemleri beraberinde getirmektedir. Bu problemlerden en önemlilerinden biride kısa süreli gerilim sarkmalarıdır. Gerilim düşümleri üzerine yapılan araştırmalar önemini giderek arttırmaktadır.

Tez çalışmam boyunca değerli bilgilerini paylaşarak yönlendiren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ertan YANIKOĞLU'na, Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümü hocalarıma ve bana daima destek olan aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	x
TABLolar LİSTESİ.....	xiv
ÖZET.....	xv
SUMMARY.....	xvi

BÖLÜM 1.

GİRİŞ.....	1
1.1. Güç Kalitesi.....	1
1.2. Güç Kalite Bozukluklarının Sınıflandırılması.....	2
1.2.1. Geçici ve hızlı değişimler.....	2
1.2.2. Kısa süreli değişimleri.....	3
1.2.3. Uzun süreli değişimler.....	5
1.2.4. Gerilim dengesizliği.....	6
1.2.5. Dalga şekli bozukluğu.....	6
1.2.6. Gerilim dalgalanmaları.....	8
1.2.7. Güç frekansı değişimleri.....	9

BÖLÜM 2.

KISA SÜRELİ GERİLİM SARKMASI.....	10
2.1. Kısa Süreli Gerilim Sarkma Karakteristikleri.....	10
2.1.1. Kısa süreli gerilim sarkma büyüklüğü.....	12
2.1.2. Kısa süreli gerilim sarkmalarının kaynakları.....	13
2.1.3. Kısa süreli gerilim sarkma büyüklüğünün teorik hesaplaması.....	14
2.1.4. Kısa süreli gerilim sarkmalarının yayılması.....	16

2.1.5. Kritik mesafe	19
2.1.6. Kısa süreli gerilim sarkma süresi	20
2.1.7. Üç faz dengesizliği	26
2.1.7.1. Tek faz arızalar	27
2.1.7.2. Faz faz arası arızalar.....	29
2.1.7.3. İki faz toprak arızası.....	31
2.2. CBEMA ve ITIC Eğrileri	32
BÖLÜM 3.	
KISA SÜRELİ GERİLİM SARKMALARININ HAFİFLETİLMESİ	35
3.1. Arıza Sayısını Azaltma	36
3.2. Arıza Temizleme Zamanını Azaltma.....	37
3.3. Güç Sistemini Değiştirme	37
3.4. Hafifletme Ekipmanları Yerleştirme	38
3.5. Ekipman Gerilim Toleransını Arttırmak.....	42
BÖLÜM 4.	
TRANSFORMATÖR BAĞLANTI ŞEKİLLERİ VE ETKİLERİ	43
4.1. Transformator Bağlantı Şekilleri.....	43
4.2. Kısa Süreli Gerilim Sarkmalarının Transformatörlerden Yayılması	44
BÖLÜM 5.	
UYGULAMA SİSTEMİ	50
5.1. MATLAB/SIMULINK Programı	51
5.2. Sistemde Bulunan Elemanların Değerleri ve SIMULINK Modelleri	52
5.3. Kısa Devre Arızalarından Kaynaklanan Kısa Süreli Gerilim Sarkmaları	60
5.3.1. B noktasında tek faz toprak arızası.....	60
5.3.2. B noktasında faz faz arızası	62
5.3.3. B noktasında iki faz toprak arızası	63
5.3.4. B noktasında üç faz toprak arızası.....	65
5.3.5. A noktasında tek faz toprak arızası	66
5.3.6. A noktasında faz faz arızası	68
5.3.7. A noktasında iki faz toprak arızası.....	69
5.3.8. A noktasında üç faz toprak arızası	70

BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	85
KAYNAKLAR.....	87
ÖZGEÇMİŞ.....	89

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

0,1,2	: Simetrik bileşenler; sıfır, pozitif ve negatif
A	: Amper
a	: e^{j120}
AC	: Alternatif Akım
CBEMA	: Bilgisayar İşletim Cihazı İmalat Ortaklığı(Computer and Business Equipment Manufacturers' Association)
d	: Arıza ve Ortak Bağlantı Noktası Arasındaki Mesafe
DC	: Doğru Akım
d_{crit}	: Kritik Mesafe
DVR	: Dinamik gerilim yenileyicisi(DGY)
E	: Kaynak Gerilimi (pu cinsinden)
IEC	: Uluslararası Elektroteknik Birliği (International Electrotechnical Commission)
IEEE	: Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (The Institute of Electrical and Electronics Engineers)
I_{flt}	: Ortak Bağlantı Noktası Kısa Devre Akımı
ITIC	: Bilgi Teknolojisi Endüstri Kurulu (Information Technology Industry Council)
M-G	: Motor-Generatör seti
N	: Her Periyot İçin Örnek Sayısı
O.G.	: Orta Gerilim
PCC	: Ortak Bağlantı Noktası (Point of Common Coupling)
PLC	: Programlanabilir Lojik Kontrolör (Programmable Logic Control)
S_{FLT}	: Arıza Yeri Arıza Seviyesi

SGT	: Sabit Gerilim Transformatörü
S_{PCC}	: Ortak Bağlantı Noktası Arıza Seviyesi
TRF	: Transformatör
UPS	: Kesintisiz Güç Kaynağı(KGK)
V	: Volt
V_i	: Zaman Domeni İçin Örneklenmiş Gerilim
V_{sag}	: Kısa Süreli Gerilim Sarkma Gerilimi
z	: Besleyici Hat Empedansı (pu cinsinden)
Z_F	: Arıza Empedansı
Z_S	: Kaynak Empedansı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Yıldırım düşmesi sonucu oluşmuş anlık darbe	3
Şekil 1.2. Arka arkaya kondansatör anahtarlamasında kaynaklanan geçici olay.....	3
Şekil 1.3. Üç faz arıza için temizleme zamanı boyunca kısa süreli gerilim sarkması .	4
Şekil 1.4. Tek faz toprak arıza nedeniyle meydana gelen gerilim yükselmesi	4
Şekil 1.5. Kısa süreli kesinti.....	5
Şekil 1.6. Gerilim dengesizliği.....	6
Şekil 1.7. Harmonikli akım	7
Şekil 1.8. Üç fazlı bir çeviriciden kaynaklanan gerilim çentiği.....	8
Şekil 1.9. Ark fırınının çalışmasından kaynaklanan gerilim dalgalanması.....	8
Şekil 2.1. Kısa Süreli Gerilim Sarkması - gerilim tek faz.....	11
Şekil 2.2. Kısa Süreli Gerilim Sarkması - Motor başlaması nedeniyle.....	11
Şekil 2.3. Şekil 2.1'deki gerilim sarkmasının etkin değeri.....	13
Şekil 2.4. Gerilim sarkması için gerilim bölücü devre.....	15
Şekil 2.5. Arızaya mesafenin bir fonksiyonu olarak sarkma büyüklüğü	16
Şekil 2.6. Yük (A-D) ve arıza (1-5) yerleri ile dağıtım sistemi	18
Şekil 2.7. Kısa devre akımının sınırlandırılması.....	22
Şekil 2.8. Arıza anında akım-empedans grafiği	23
Şekil 2.9. Diferansiyel röle prensip şekli	24
Şekil 2.10. Endüksiyon röle çalışma prensip şeması	25
Şekil 2.11. Ani çalışan sekonder aşırı akım rölesi prensip şeması	25
Şekil 2.12. Bir Büyüklük-Süre grafiğinde farklı kaynaklı sarkmalar	26
Şekil 2.13. Şekil 2.4'de gösterilen gerilim bölücü devre için pozitif (üst), negatif (orta) ve sıfır (alt) dizi bileşenleri	27
Şekil 2.14. Tek faz arıza için eşdeğer devre.....	28
Şekil 2.15. Faz faz arızası için eşdeğer devre	29

Şekil 2.16. İki faz toprak arızası için eşdeğer devre	32
Şekil 2.17. CBEMA Eğrisi.....	33
Şekil 2.18. ITIC eğrisi (bilgisayarların gerilim sarkmalarına, kesintilere ve aşırı gerilime karşı.....	34
Şekil 3.1. KGK bağlantı şekli	39
Şekil 3.2. DVRın temel yapısı	40
Şekil 3.3. Motor-generatör grubu.....	41
Şekil 3.4. Sabit gerilim transformatörü	42
Şekil 4.1. Faz-nötr gerilimleri, tek-faz toprak arızası	45
Şekil 4.2. Faz-Faz gerilimleri, tek-faz toprak arızası.....	46
Şekil 4.3. Faz-nötr gerilimleri, faz-faz arası arıza süresince.....	47
Şekil 4.4. Faz-faz gerilimleri, faz-faz arası arıza süresince	48
Şekil 5.1. 13-baralı dengeli endüstriyel dağıtım sistemi[16]	51
Şekil 5.2. Uygulama sisteminin MATLAB/SIMULINK modeli.....	53
Şekil 5.3. TRF-1 transformatörü	54
Şekil 5.4. TRF-2 transformatörü	54
Şekil 5.5. TRF-3 transformatörü	55
Şekil 5.6. TRF-4 transformatörü	55
Şekil 5.7. TRF-5 transformatörü	56
Şekil 5.8. TRF-6 transformatörü	56
Şekil 5.9. TRF-7 transformatörü	57
Şekil 5.10. a) 1 numaralı hat, b) iki numaralı hat.....	58
Şekil 5.11. a) 3 numaralı hat, b) 4 numaralı hat.....	58
Şekil 5.12. 5 numaralı hat	59
Şekil 5.13. Üç faz arıza SIMULINK bloğu.....	59
Şekil 5.14. a) tek faz toprak arızası, b) faz faz arızası	59
Şekil 5.15. a) iki faz toprak arızası, b) üç faz toprak arızası.....	60
Şekil 5.16. Tek faz toprak arızasından kaynaklanan kısa süreli gerilim sarkması (TRF -6 'nın primer tarafı).....	61
Şekil 5.17. Tek faz toprak arızasından kaynaklanan kısa süreli gerilim sarkması (TRF -6'nın sekonder tarafı).....	61

Şekil 5.18. Faz faz arızadan kaynaklanan kısa süreli gerilim sarkması(TRF-6'nın primer tarafı)	62
Şekil 5.19. Faz faz arızadan kaynaklanan kısa süreli gerilim sarkması(TRF-6'nın sekonder tarafı).....	63
Şekil 5.20. İki faz toprak arızasından kaynaklanan kısa süreli gerilim sarkması(TRF-6'nın primer tarafı).....	64
Şekil 5.21. İki faz toprak arızasından kaynaklanan kısa süreli gerilim sarkması(TRF-6'nın sekonder tarafı).....	64
Şekil 5.22. Üç faz toprak arızasından kaynaklanan kısa süreli gerilim sarkması(TRF-6'nın primer tarafı).....	65
Şekil 5.23. Üç faz toprak arızasından kaynaklanan kısa süreli gerilim sarkması(TRF-6'nın sekonder tarafı).....	66
Şekil 5.24. Tek faz toprak arızasından kaynaklanan kısa süreli gerilim sarkması (TRF-2'nin primer tarafı).....	67
Şekil 5.25. Tek faz toprak arızasından kaynaklanan kısa süreli gerilim sarkması (TRF-6'nın sekonder tarafı).....	67
Şekil 5.26. Faz faz arızasından kaynaklanan kısa süreli gerilim sarkması(TRF-2'nin primer tarafı)	68
Şekil 5.27. Faz faz arızasından kaynaklanan kısa süreli gerilim sarkması(TRF-6'nın sekonder tarafı).....	68
Şekil 5.28. İki faz toprak arızasından kaynaklanan kısa süreli gerilim sarkması(TRF-2'nin primer tarafı).....	69
Şekil 5.29. İki faz toprak arızasından kaynaklanan kısa süreli gerilim sarkması (TRF6'nın sekonder tarafı)	70
Şekil 5.30. Üç faz toprak arızasından kaynaklanan kısa süreli gerilim sarkması (TRF-2'nin primer tarafı).....	70
Şekil 5.31. Üç faz toprak arızasından kaynaklanan kısa süreli gerilim sarkması (TRF-6'nın sekonder tarafı).....	71
Şekil 5.32. A fazı gerilim büyüklükleri.....	76
Şekil 5.33. B fazı gerilim büyüklükleri.....	76
Şekil 5.34. C fazı gerilim büyüklükleri.....	77
Şekil 5.35. A fazı gerilim büyüklükleri.....	78

Şekil 5.36. B fazı gerilim büyüklükleri.....	78
Şekil 5.37. C fazı gerilim büyüklükleri.....	79
Şekil 5.38. A, B ve C faz gerilim büyüklükleri.....	79
Şekil 5.39. A fazı gerilim değerleri.....	80
Şekil 5.40. B fazı gerilim değerleri.....	80
Şekil 5.41. C fazı gerilim değerleri.....	81
Şekil 5.42. A fazı gerilim değerleri(iki faz toprak arızası).....	82
Şekil 5.43. B fazı gerilim değerleri.....	82
Şekil 5.44. C fazı gerilim değerleri.....	83
Şekil 5.45. A faz gerilim değerleri.....	83
Şekil 5.46. B faz gerilim değerleri.....	84
Şekil 5.47. C faz gerilim değerleri.....	84

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Farklı gerilim seviyeleri için tipik arıza seviyeleri	17
Tablo 2.2. Gerilim sarkmasının yüksek gerilim seviyelerine yayılması	17
Tablo 2.3. Değişik gerilim seviyelerindeki arızalar için kritik mesafe	19
Tablo 4.1. Kısa süreli gerilim sarkmasının ileriye yayılması.....	49
Tablo 5.1. Transformator değerleri	52
Tablo 5.2. Hat parametreleri	57
Tablo 5.3. B ve A noktalarına tek faz toprak arızası uygulanınca TRF-6 ve TRF-2 transformatorünün 9 değişik bağlantı şekli için elde edilen değerler	73
Tablo 5.4. B ve A noktalarına faz faz arızası uygulanınca TRF-6 ve TRF-2 transformatorünün 9 değişik bağlantı şekli için elde edilen değerler	74
Tablo 5.5. B ve A noktalarına iki faz toprak arızası uygulanınca TRF-6 ve TRF-2 transformatorünün 9 değişik bağlantı şekli için elde edilen değerler	75

ÖZET

Anahtar kelimeler: Kısa Süreli Gerilim Sarkması, Arıza, MATLAB/SIMULINK, Transformatör Bağlantı Şekli

Elektrik enerjisine duyulan ihtiyacın sürekli artmasıyla, elektrik güç sistemleri sürekli büyümektedir. Bu büyümeden kaynaklanan çeşitli problemlerde ortaya çıkmaktadır. Bu problemlerin en önemlilerinden biride hiç şüphesiz kısa süreli gerilim sarkmalarıdır.

Bu tez çalışması yapı itibariyle altı bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünde konuyla ilgili kısa bir tanıtımın ardından literatür incelemesi yapılmıştır. İkinci bölümde gerilim sarkmalarının tanımı, oluşma sebepleri, karakteristikleri, kaynakları ve kısa süreli gerilim sarkmaları ile ilgili teorik altyapı ve matematiksel bağıntılar ile hesaplamada kullanılan yöntemler verilmiştir.

Üçüncü bölümde ise kısa süreli gerilim sarkma etkilerini hafifletme yöntemlerinden ve gerilim sarkmasını azaltıcı cihazlar hakkında bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde ise transformatör bağlantı şekillerinden ve bağlantı şekillerinin gerilim sarkmalarının daha alt sistemlere yayılmasına etkilerinden bahsedilmiştir.

Beşinci bölümde SIMULINK simülasyon programı ile örnek bir orta gerilim dağıtım sistemi için dört farklı arıza durumu kısa süreli gerilim sarkması analizi yapılmış ve elde edilen sonuçlar tablolarda gösterilmiştir. Sonuç bölümünde, bir önceki bölümde elde edilen sonuçla ilgili genel bir değerlendirme yapılmıştır.

THE EFFECTS OF TRANSFORMER CONNECTIONS TO VOLTAGE SAGS

SUMMARY

Keywords: Voltage Sag, Fault, MATLAB/SIMULINK, Transformer Connection Type

The continuous increase in the need for electricity, the electrical power system consistently growing. Some problems exist because of the growing. Voltage sag is the most important one of these power quality problems.

This thesis consist of six chapters. In first chapter, it is given a literature study after a short introduction, then investigated phenomena are presented. In second chapter, defination of voltage sags, causes of occurrence, sources and it's characteristics are presented. A detailed teoretical background, matematical equations and methods that used in the analysis are given.

In chapter three, mitigation techniques of voltage sags effect andequipments that reduce voltage sags are given. In chapter four, transformer connections and its effect on propagation of voltage sags to lower voltage levels are investigated.

In chapter five, a sample medium voltage distribution system is analyzed for four fault types with SIMULINK program and the results are shown in the tables. Finally, a general assessment about the problems which is obtained previous chapters were made.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Güç Kalitesi

Güç kalitesi için baz aldığı referansa göre farklı tanımlamalar yapılabilir. Örnek olarak, bir sistem güç kalitesini, sistem güvenilirliğinin yüksek olması olarak tanımlarken, diğer biri, sistemdeki ekipmanların uygun şekilde çalışmasını sağlayacak besleme gücü olarak tanımlayabilir. Güç kalitesi sonuçta tüketici odaklı bir konudur ve kullanıcının sistem beklentileri önceliklidir. Bu nedenle güç kalite sorunu; gerilim, akım veya frekanstaki herhangi bir değişim ile tespit edilen problemin, kullanıcının sisteminde bir arıza veya istenmeyen bir çalışma şeklini oluşturması olarak tanımlanır [1].

Burada güç kalitesiyle tanımlanan aslında gerilim kalitesidir. Teknik olarak mühendislikte güç, enerji iletim oranı olup, gerilim ve akımla orantılıdır. Güç kaynağı sistemin sadece gerilimini kontrol edebilir, belirli yüklerin etkisiyle değişebilen akımı kontrol edemez. Bu nedenle güç kalitesi alanındaki standartlar, besleme gerilimini belirli limitler arasında muhafaza ederek tüketiciye sunulmasını amaç edinmişlerdir. Elektrik güç sistemleri 50 veya 60 Hz'de sinüzoidal dalga şeklinde ve belirli bir gerilim büyüklüğünde çalışmak için dizayn edilmişlerdir [1]. Tüketiciye sinüzoidal formda; belirli büyüklük ve frekansta gerilim tedarigi enerjinin kalitesiyle ilgilidir.

Gerçek güç kalite problemlerine ek olarak, yazılım, donanım ve kontrol sistemlerinin düzensiz çalışmasıyla ilişkili algılanan güç kalite problemleri de vardır. Düşük büyüklüklü ve tekrarlayan geçici olaylar nedeniyle elektronik bileşenlerde aşınmalar meydana gelebilir. Bu nedenle, bazen bir arızayı belirli bir nedene dayandırmak zor olabilir. Sistemin tam olarak nasıl çalıştığını bilmeyen kontrol sistem tasarımcılarının

yaygınlaşmasıyla, bilgisayar kontrollü yük ekipmanlarının ilk versiyonları için gömülü sistem yazılımlarındaki eksikliklerden kaynaklanan düzensiz çalışmaların meydana gelmesi yaygındır.

1.2. Güç Kalite Bozukluklarının Sınıflandırılması

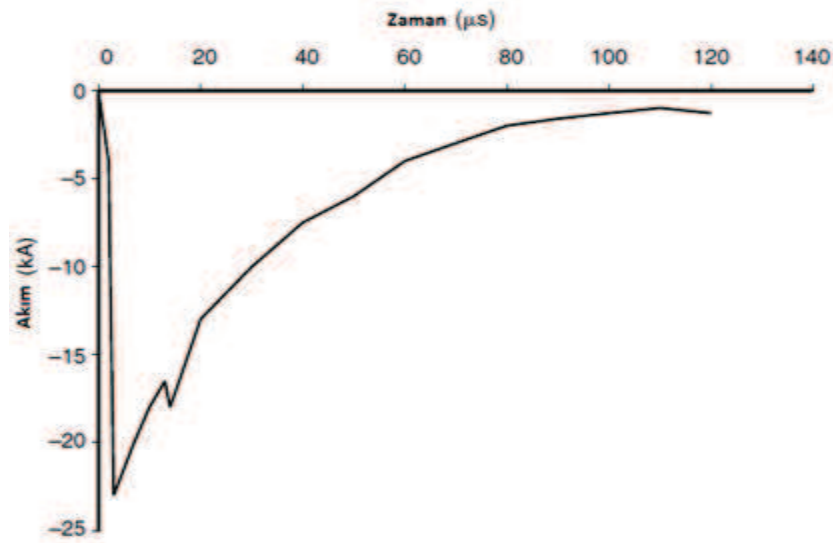
Güç sistemi elektromanyetik olaylarının kategori ve karakteristikleri genel olarak yedi bölümde toplanmıştır [2].

- Geçici ve hızlı değişimler
- Kısa süreli değişimleri
- Uzun süreli değişimler
- Gerilim dengesizliği
- Dalga şekli bozukluğu
- Gerilim dalgalanmaları
- Güç frekansı değişimleri

1.2.1. Geçici ve hızlı değişimler

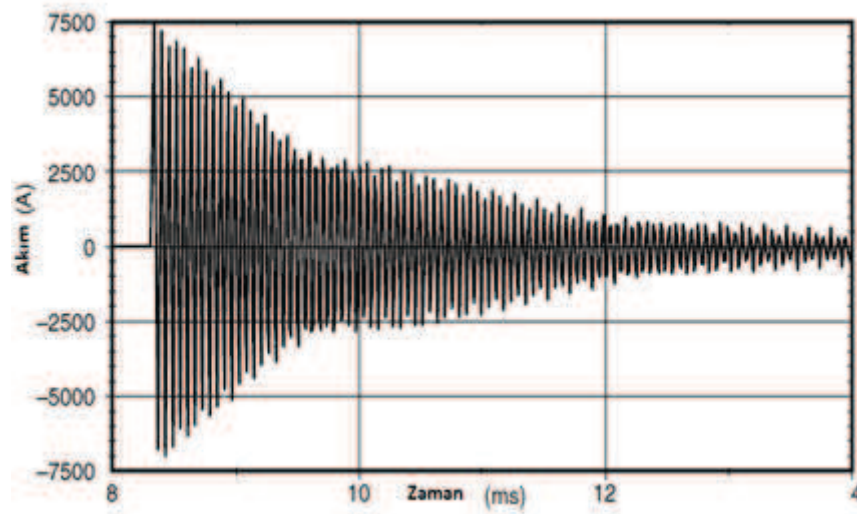
Uzun yıllardır güç sistemi değişimlerinin analizinde geçici olaylar(transients) tabiri kullanılmaktadır. Geçici olaylar, kararlı bir durumdan diğer bir kararlı duruma geçerken gerçekleşen olaylardır. İkiye ayrılır: Anlık gerilim veya akım darbesi (impulsive transient) ve salınımlı gerilim veya akım darbesi (oscillatory transient).

Anlık gerilim veya akım darbesi (impulsive transient): Akım veya gerilimin sürekli halinde güç frekansında değişmeye neden olmayan ani ve tek yönlü olaylardır. Normal olarak yükselme ve alçalma zamanları ile karakterize edilirler.



Şekil 1.1. Yıldırım düşmesi sonucu oluşmuş anlık darbe [2]

Salınımlı gerilim veya akım darbesi (oscillatory transient): Polaritesi hızlıca değişen akım veya gerilimin anlık değerinden oluşur.



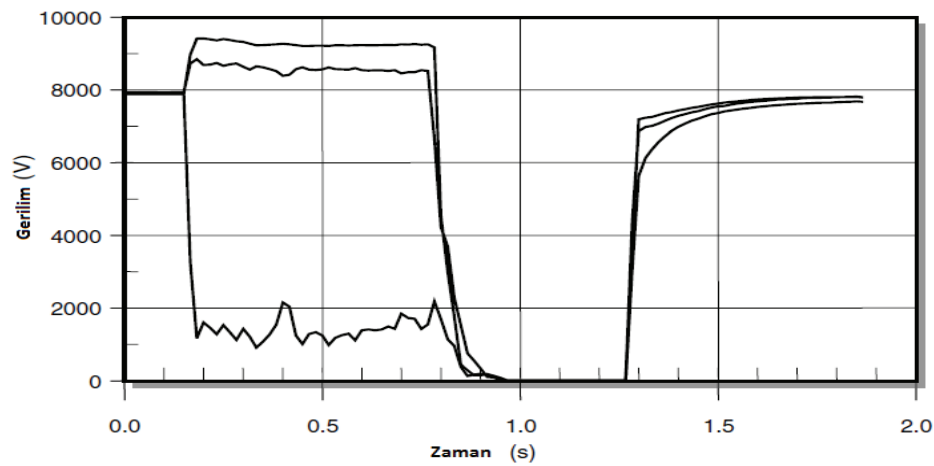
Şekil 1.2. Arka arkaya kondansatör anahtarlama sırasında kaynaklanan geçici olay [2]

1.2.2. Kısa süreli değişimleri

Kısa süreli gerilim değişimleri genellikle bir arıza durumunda, yüksek başlama akımı gerektiren yüklerin enerjilenmesinde veya güç kablolarının gevşek bağlantısından kaynaklanır. Arıza yerine ve sistemin durumuna bağlıdır. Arıza gerilimin geçici

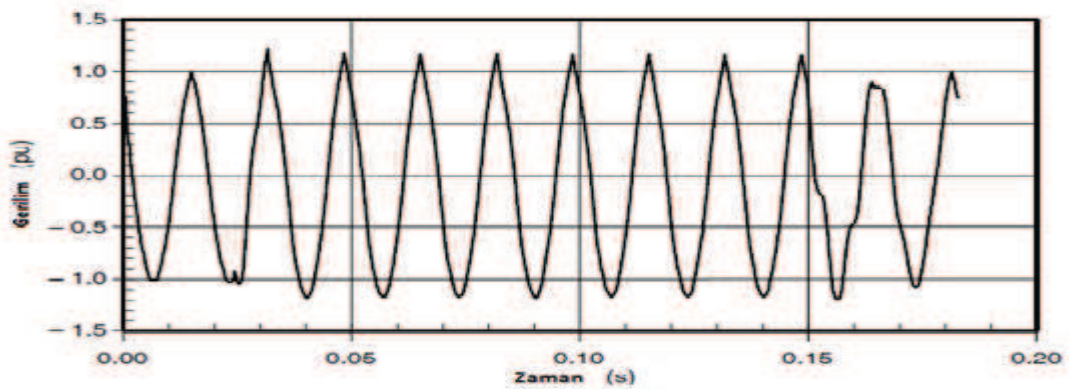
yükselmesine (swell), gerilimin geçici sarkmasına (sag) veya gerilimin tamamen kesilmesine (interruption) neden olabilir.

Kısa Süreli Gerilim Sarkması (voltage sag/dip): 0.5 periyottan 1dk.'ya kadar süren etkin (rms) gerilim düşümü, nominal gerilim değerinin %10-%90'ı arasında kalan olan olaydır.



Şekil 1.3. Üç faz arıza için temizleme zamanı boyunca kısa süreli gerilim sarkması [1]

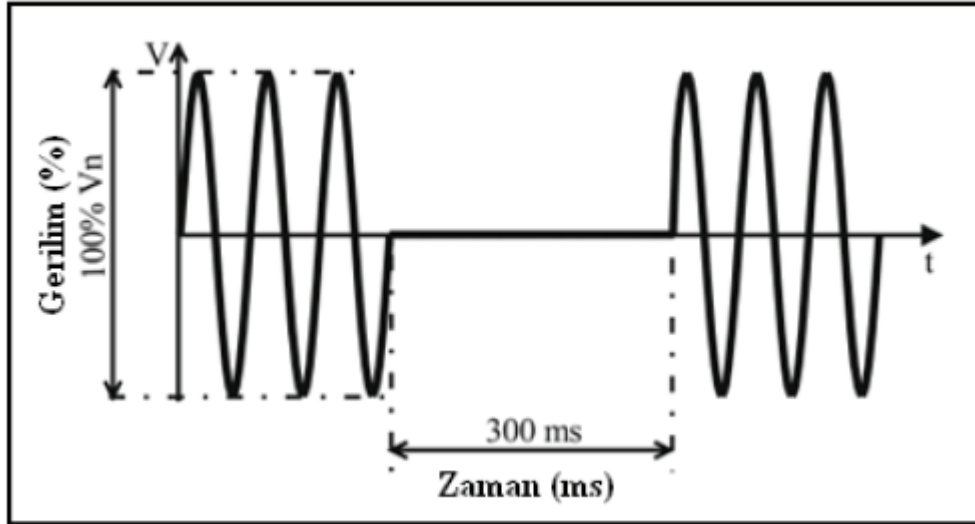
Gerilim yükselmesi (voltage swell): Gerilim düşümünün tersidir. 0.5 periyottan 1dk.'ya kadar süren ve etkin (rms) gerilim yükselmesi nominal gerilim değerinin %110-%180'i arasında kalan olaydır.



Şekil 1.4. Tek faz toprak arıza nedeniyle meydana gelen gerilim yükselmesi [1]

Kesinti (interruption): Gerilim değerinin 60sn'den daha kısa süreyle nominal değerinin %10'unun altına inmesidir. Geçici kesinti olarak tanımlanan bu olayın dışında

60sn.'den uzun süren ve gerilim etkin değerinin 0V olduğu kesintiler uzun süreli kesintilerdir.



Şekil 1.5. Kısa süreli kesinti [3]

1.2.3. Uzun süreli değişimler

Temel frekansta bir dakikadan uzun süren efektif gerilimdeki değişimleri kapsayan olaylardır. Bir gerilim değişiminin uzun süreli değişim sayılabilmesi için limit gerilimlerinin bir dakikadan uzun bir süre aşılması gerekir. Uzun süreli değişimlerin iki tipi vardır: Aşırı gerilim ve düşük gerilim. Bu değişimlere sebep sistemdeki yük değişimleri ve anahtarlama olaylarıdır, bu uzun süreli değişimlerin kaynağı hatalar değildir.

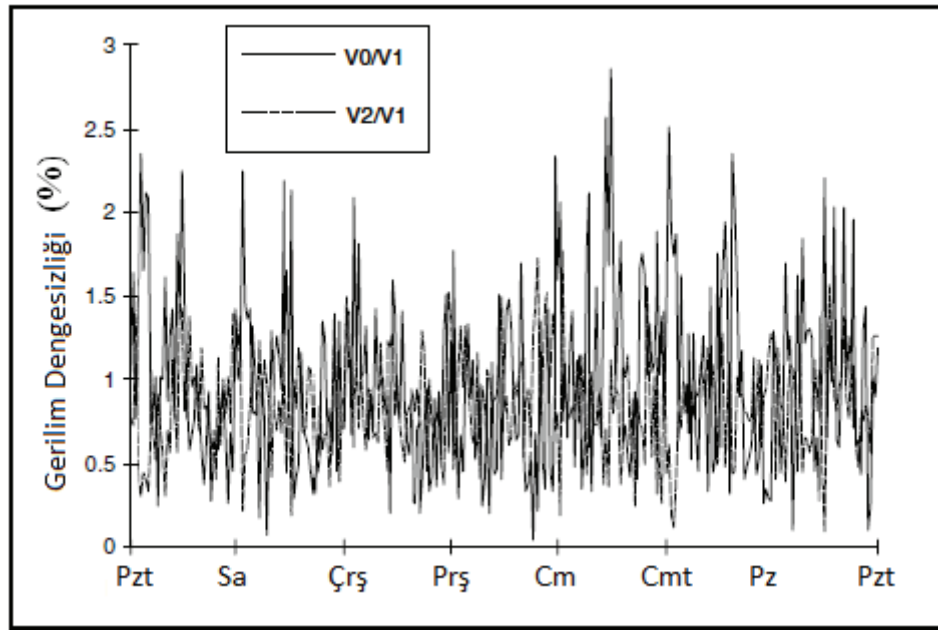
Aşırı gerilim; güç frekansında gerilimin, efektif değerinin %110'un üzerine bir dakikadan uzun süre yükseldiği durumdur. Aşırı gerilimler, yüklerin anahtarlanmasıyla veya sistemdeki reaktif kompanzasyon değişimlerinden ortaya çıkabilir. Aşırı gerilimler; sistemlerin zayıf olması, gerilim regülasyonunun doğru olmaması veya transformatörlerin kademesinin yanlış ayarlanmış olması gibi nedenlerden oluşabilir.

Düşük gerilim; güç frekansında, gerilimin efektif değerinin %90'nın üzerine bir dakikadan uzun süre düştüğü durumdur. Düşük gerilimin, kapasitörlerin devreden

çıkarılması, yüklerin devreye alınması veya aşırı yüklenmiş sistemler düşük gerilime neden olabilir.

1.2.4. Gerilim dengesizliği

Üç faz gerilim genliklerinin birbirine eşit olmaması, birinin diğerine göre maksimum sapması durumudur.



Şekil 1.6. Gerilim dengesizliği [2]

1.2.5. Dalga şekli bozukluğu

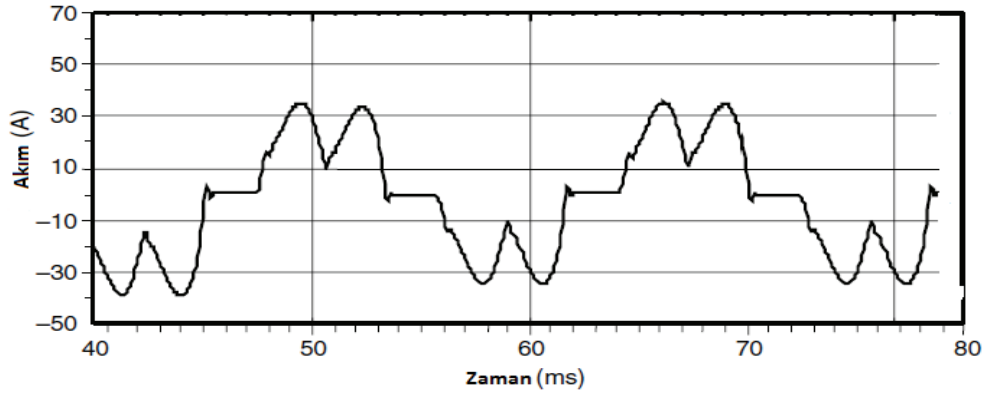
Güç frekansının ideal sinüs dalga formundan sapması olarak tanımlanır.

Dalga şekli bozulmalarının beş temel çeşidi vardır

- DC ofset
- Harmonikler
- Ara harmonikler
- Çentikler
- Gürültü

DC Ofset: AC güç sisteminde DC gerilim veya DC akım bileşenin yer alması durumudur.

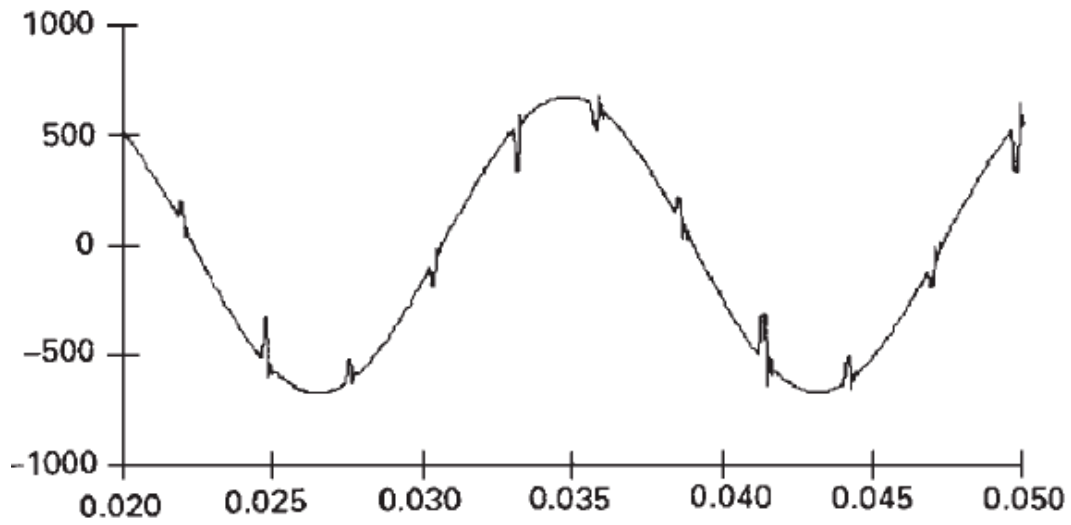
Harmonikler: Temel frekansın tam katlarında frekanslara sahip sinüzoidal formda bulunan akım veya gerilimlerdir. Harmonik bozulmalar güç sisteminde bulunan nonlineer yükler tarafından oluşturulmaktadır.



Şekil 1.7. Harmonikli akım [1]

Ara harmonikler: Gerilim ve akımın temel frekansının tam katları olmayan frekanslardaki bileşenleridir. Ara harmonikler her gerilim seviyesindeki şebekelerde görülebilirler. Ara harmoniklere sebep olan etkenler; frekans konvertörleri, indüksiyon fırınları ve ark cihazlardır. Ara harmonikler genellikle, frekans çeviricilerden kaynaklanır ve sabit olmayıp yüke göre değişir. Bazı ara harmonikler şebekede rezonans oluşumuna sebebiyet verdiklerinden çok tehlikeli olabilir.

Çentikler: Güç elektroniği cihazlarının normal çalışma koşullarında akımı bir fazdan başka faza dönüştürmesi sırasında ortaya çıkan periyodik gerilim bozulmasıdır. Çentik sürekli meydana geldiği için etkilenen gerilimin harmonik spektrumu ile karakterize edilebilirler. Çentiklerin frekansı çok yüksek olduğundan harmonik ölçümü yapan cihazlarla ölçülemeyebilirler.

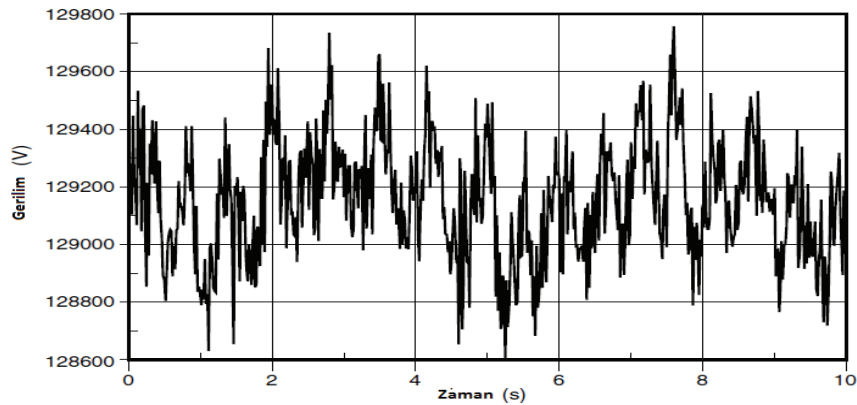


Şekil 1.8. Üç fazlı bir çeviriciden kaynaklanan gerilim çentiği [2]

Gürültü: Güç sisteminin gerilim, faz akımları, nötr iletkenleri veya sinyal kablolarında görülen geniş bant spektral içeriği 200 kHz'den düşük olan istenmeyen sinyallerdir.

1.2.6. Gerilim dalgalanmaları

Gerilim etkin değerinin 3-5Hz frekansla $\pm\%10$ değişmesidir. Diğer bir ifadeyle gerilim dalgalanmasını oluşturan kaynak var olduğu sürece gerilimin etkin değeri sabit kalmaz, düşük frekansla sürekli değişir.



Şekil 1.9. Ark fırınının çalışmasından kaynaklanan gerilim dalgalanması [1]

1.2.7. Güç frekansı değişimleri

Güç frekansı değişimi, sistem frekansının temel frekansından (50 Hz veya 60 Hz) sapması olayıdır. Güç sisteminin frekansı sistemi besleyen generatörlerin dönme hızıyla direk ilişkilidir. Herhangi bir anda frekans, üretilen enerji ve yükün dengesine bağlıdır. Bu dinamik denge değiştiği zaman frekansta küçük değişimler meydana gelir. Frekans değişimleri, güç sisteminin normal sürekli hal çalışması için kabul edilen limitlerin dışına çıkması durumunda, iletim sisteminin büyük bir kısmında arızalara, geniş ölçekteki yüklerin veya büyük güçlü generatörlerin devre dışı kalmalarına sebep olabilir.

BÖLÜM 2. KISA SÜRELİ GERİLİM SARKMASI

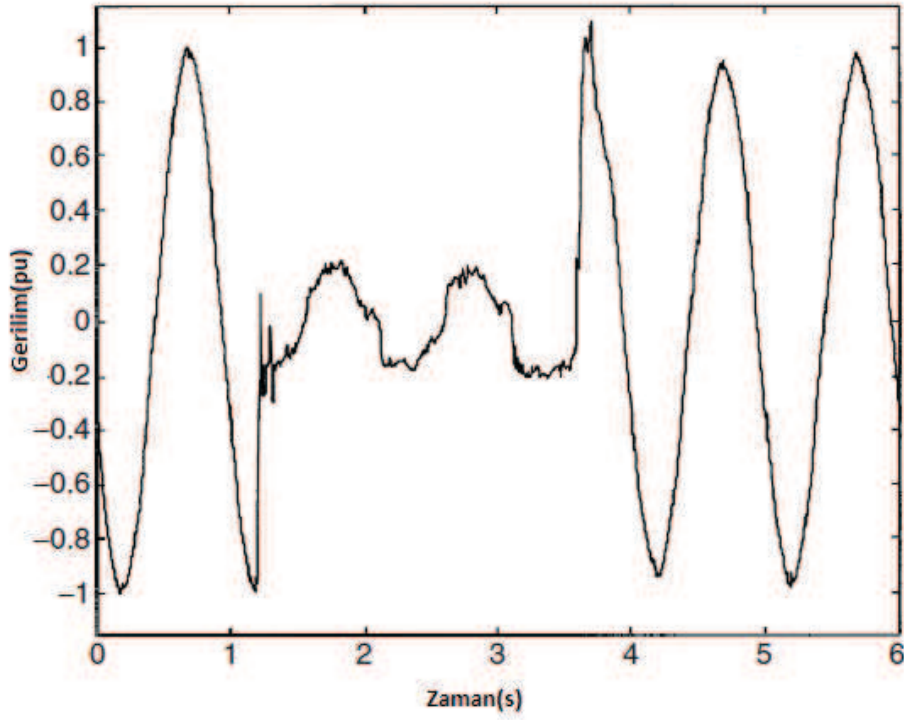
Kısa süreli gerilim sarkması, 0.5 periyottan 1 dakikaya kadar nominal frekanstaki şebeke gerilimi efektif değerinin kısa süreli düşmesi olayına denir [2].

Kısa süreli gerilim sarkmaları, kısa devre, aşırı yüklenme ve büyük motorların devreye alınması gibi nedenlerle şebeke geriliminde meydana gelen kısa süreli gerilim düşümleridir. Problemler boyunca gerilim sarkması, gerilimde meydana gelen değişimlere hassasiyetlerinden dolayı ayarlanabilir-hız sürücüleri, süreç kontrol ekipmanları ve bilgisayarlar üzerinde sorunlar oluşturur [2]. Gerilimin etkin değeri bir veya iki devirden daha uzun süre %90 değerinin altına sarktığında ekipmanların bazı parçalarında arıza meydana gelir. Eğer bu problem kağıt imalathanesindeki bir süreç kontrol ekipmanında meydana gelirse, gerilim sarkmasından kaynaklanan zararın maliyeti yüksek olabilir. Bir gerilim sarkması (uzun veya kısa) bir kesme kadar endüstriye zarar vermez ama kesmeden çok daha fazla gerilim sarkması oluşmaktadır. Gerilim sarkması nedeniyle oluşan toplam zarar kesintiye göre daha geniştir. Gerilim sarkmalarını diğer yönlerinden biri de onları azaltmanın zor olmasıdır. Yerel dağıtım sistemlerinde önlem almak pahalı olmasına rağmen, kısa süreli ve bir çok uzun süreli kesmelerden basit yollarla korunmak mümkündür. İletim sisteminden yüzlerce kilometre uzaklıktaki kısa devre arızaları nedeniyle ekipman uçlarında gerilim sarkması oluşabilir, bundan dolayı gerilim sarkmalarından korunmanın basit bir yöntemi yoktur.

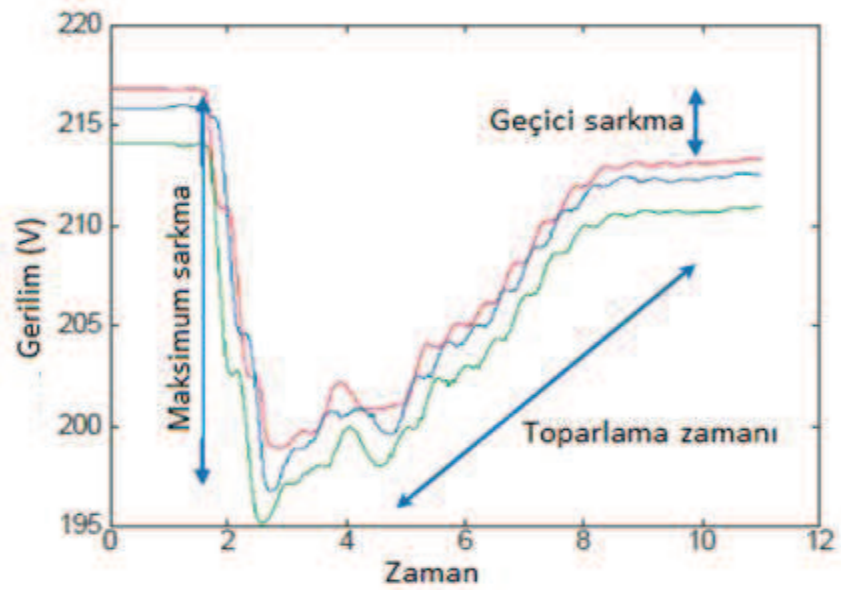
2.1. Kısa Süreli Gerilim Sarkma Karakteristikleri

Gerilim sarkmaları iki ana karakteristiğe sahiptir: sarkma büyüklüğü ve süresi. Şekil 2.1'de kısa devre arızasından kaynaklanan gerilim sarkması gösterilmiştir. Gerilimin genliği 2.5 periyot için olay öncesi değerinin %20 sine düşer, olay sonrasında gerilim

başlangıçtaki değerine döner. Şekil 2.1'de gösterilen olay gerilim sarkmasının, %20 değerine (olay öncesi gerilimin) 2.5 periyot (temel frekansın) için düşmesi olarak nitelendirilebilir. Bu olayda gerilim sarkmasının büyüklüğü %20, süresi 2.5 periyottur.



Şekil 2.1. Kısa Süreli Gerilim Sarkması - gerilim tek faz



Şekil 2.2. Kısa Süreli Gerilim Sarkması - Motor başlaması nedeniyle

Şekil 2.2'de büyük güçlü bir motorun çalışmaya başlamasından kaynaklanan bir gerilim sarkması gösterilmiştir.

2.1.1. Kısa süreli gerilim sarkma büyüklüğü

Gerilim sarkma büyüklüğünü elde etmenin birkaç yolu vardır. Bunlardan en çok tercih edileni, kısa süreli gerilim sarkma büyüklüğünü gerilimin etkin değerinden belirlemektir. Şekil 2.1'de gösterilen gerilimin etkin değeri Şekil 2.3'de gösterilmiştir. Gerilimin etkin değeri bir periyot için (2.1) formülünden hesaplanmıştır.

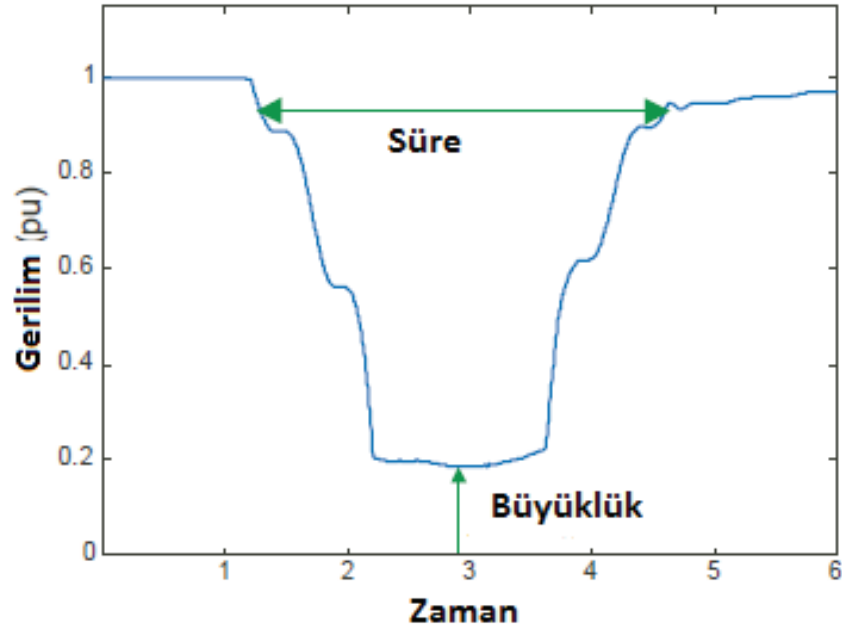
$$V_{rms}(k) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=k-N+1}^{i=k} V_i^2} \quad (2.1)$$

N: Her periyot için örnek sayısı.

v(i): zaman domeni için örneklenmiş gerilim.

Şekil 2.3'de gösterildiği gibi gerilimin etkin değeri aniden daha düşük bir değere sarkmaz, geçici hal bir periyot sürer. Etkin gerilimin sarkma süresince sabit olmadığı şekilden görülebilir. Arıza sonrasında gerilim ani olarak eski değerine dönemez. Şaşırtıcı bir şekilde, etkin gerilim arıza sonrasında ani olarak arıza öncesi gerilim değerinin yaklaşık olarak %90'ına kadar dönebilir.

Sarkmanın büyüklüğünü gerilimin etkin değerinden elde etmenin çeşitli yollar vardır. Bir çok gerilim kalite izleyicisi olay süresince elde edilen en küçük gerilim değerini alır. Normal olarak sarkmanın en derin kısmı sabit bir etkin değere sahip olduğundan, sarkma büyüklüğü olarak etkin gerilimin en küçük değerini kullanmak kabul edilebilir bir yaklaşımdır.



Şekil 2.3. Şekil 2.1.'deki gerilim sarkmasının etkin değeri

Gerilim sarkma büyüklüğünü elde etmede, etkin gerilim değerini ve etkin gerilimin en küçük değerini kullanma genel olarak kabul edilen yaklaşımlardır. Ancak gerilim sarkma büyüklüğü bir sayıyla tanımlanmaya ihtiyaç duyduğu zaman farklı kullanımlar söz konusudur. Kısa süreli gerilim sarkması esnasında geriye kalan gerilimle gerilim sarkmasını tanımlamak yaygın kullanımlardan biridir. Bu daha sonra nominal gerilimin yüzdesi olarak verilmektedir. Böylece, 120 V olan sistemde % 70 sarkmanın anlamı, gerilim 84 V a düşmüştür. Bu şekilde gerilim sarkmasının tanımlanması IEEE (493-1998,1159-1995,1346-1998) standartları tarafından önerilmektedir. Yoksa buradan %70 sarkmadan sonra gerilimin %30 değeri kalır anlaşılmalıdır. Karışıklık olmaması için "%70'e bir sarkma" şeklinde kullanılması tavsiye edilir. Bu şekildeki tanımlamayla terminolojideki karışıklıklar önlenmiş olur [3]. Tezde kısa süreli gerilim sarkmasının büyüklüğü, olay esnasında geriye kalan gerilim olarak kullanılacaktır.

2.1.2. Kısa süreli gerilim sarkmalarının kaynakları

Gerilim sarkma arızalarının çoğu endüstriyel tesis kaynaklıdır. Tesis kaynaklı gerilim sarkmalarının en yaygın olan üçü:

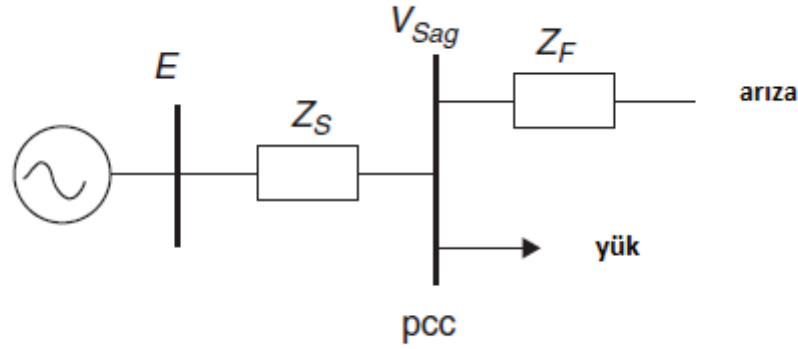
- Büyük güçlü bir yükün çalıştırılması; büyük güçlü motor veya resistif ısıtıcı gibi yükler. Elektrik motorları hızlanmak için, akımları çalışma akımlarının %150'den % 500'üne kadar yükselir. Resistif ısıtıcılar ısınmaya kadar akım değerleri normal çalışma akım değerlerinin %150'sine kadar yükselir.
- Gevşek veya arızalı kablolama; güç kondüktörleri üzerindeki kutu vidalarının yetersiz sıkılması. Bu sistem empedansındaki etkili artış akım yükselmesinin en büyük etkisidir.
- Arıza veya kısa devreler: Arıza sigorta veya devre açıcılarla hızlı bir şekilde temizlenecek olmasına rağmen, arızalar koruyucu sistemler devreye girinceye kadar gerilimde ani sarkmaya sebep olurlar.

2.1.3. Kısa süreli gerilim sarkma büyüklüğünün teorik hesaplaması

Radyal sistemde sarkmanın büyüklüğünü belirlemek için Şekil 2.4'te gösterilen gerilim bölücü devre modeli kullanılabilir. Bu özellikle dağıtım sistemleri için basitleştirilmiş bir modeldir ama sarkmanın bazı özelliklerini tahmin etmek için önemli bir modeldir. Şekil 2.4'te gördüğümüz iki empedanstan biri olan Z_S , ortak bağlantı noktasındaki (pcc) kaynak empedansı, ve Z_F ortak bağlantı noktası ve arıza arasındaki empedansı, V_{sag} sarkma gerilim büyüklüğüdür. Ortak bağlantı noktası; arıza ve yükün beslendiği noktadır. Diğer bir ifadeyle; yük akımının arıza akımından ayrıldığı noktadır. Gerilim bölücü modelde; hem arızadan önce hem de arıza esnasındaki yük akımları ihmal edilmiştir. Ortak bağlantı noktasındaki gerilim aşağıdaki formülden bulunur:

$$V_{sag} = \frac{Z_F}{Z_S + Z_F} \quad (2.2)$$

Burada sarkma öncesi gerilim değeri $E = 1$ pu olarak kabul edilmiştir.



Şekil 2.4. Gerilim sarkması için gerilim bölücü devre

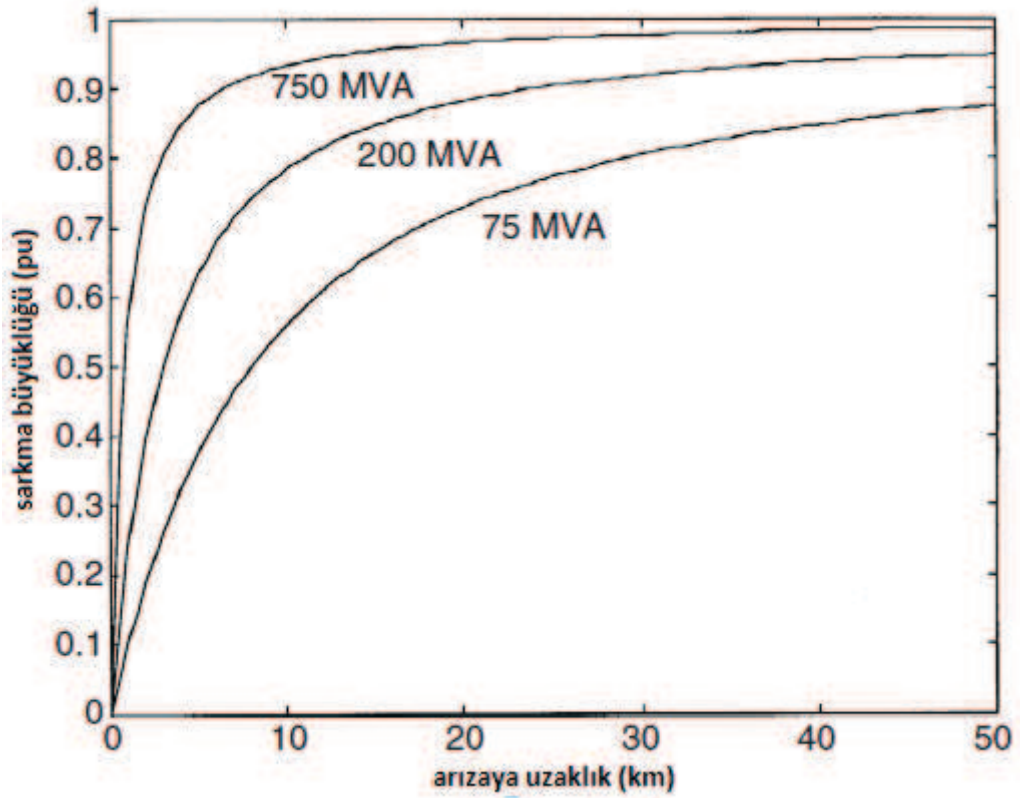
Bütün arıza empedansları bara empedanslarına dahil edilmelidir. Arızalar elektriksel olarak müşteriye yakın olduğunda (Z_F daha küçük olduğunda) ve arıza seviyesi küçük olan sistemler için (Z_S daha büyük olduğu zaman) sarkma derinliğinin fazla olduğu (2.2) eşitliğinden görülmektedir. Arızaya mesafenin fonksiyonu olarak sarkma büyüklüğü (2.2) eşitliği kullanılarak hesaplanabilir. Bu nedenle arıza empedansını arızaya bağlı olarak; $Z_F = zd$ olarak yazarız.

z : (pu cinsinden) besleyici hat empedansı,

d : arıza ve ortak bağlama noktası arasındaki mesafe,

$$V_{sag} = \frac{zd}{Z_S + zd} \quad (2.3)$$

Bu ifade, arızaya mesafenin bir fonksiyonu olarak sarkma büyüklüğü 11 kV tipik bir havai hat için hesaplanmış, sonuç Şekil 2.5'de gösterilmiştir. Hesaplamalar için 150 mm² havai hat kullanılmıştır ve arıza seviyeleri 750 MVA, 200MVA ve 75 MVA'dir. Arıza seviyesi ortak bağlantı noktasında kaynak empedansını hesaplamak için kullanılmıştır. Besleyici hat empedansı, ortak bağlantı noktası ve arıza arasındaki empedansı hesaplamak için kullanılmıştır. Hat empedansı 750MVA kaynak için $Z_s=j0.161\Omega$. Her kilometre için 150mm² lik havai hat için empedans 0.117+j0.315 Ω dur.



Şekil 2.5. Arızaya mesafenin bir fonksiyonu olarak sarkma büyüklüğü [4]

2.1.4. Kısa süreli gerilim sarkmalarının yayılması

Belirli bir barada ki kaynak empedansına hemen ulaşamayabilir, onun yerine arıza seviyesi hesaplanır. Arıza seviyesi kaynak empedansına çevrilebilir ve gerilim sarkma büyüklüğünü bulmak için (2.2) denklemini kullanılabilir. Sadece ortak bağlantı noktasının ve arıza yerinin arıza seviyeleri bilindiği zaman gerilim sarkma büyüklüğü hesaplanabilir. V_n belirli bir gerilim olmak üzere, S_{FLT} arıza yerindeki arıza seviyesi ve S_{PCC} ortak bağlantı noktasındaki arıza seviyesi olmak üzere.

$$S_{FLT} = \frac{V_n^2}{Z_S + Z_F} \quad (2.4)$$

$$S_{PCC} = \frac{V_n^2}{Z_S} \quad (2.5)$$

Ortak bağlantı noktasındaki sarkma gerilimi (V_{sag}) (2.2) eşitliği kullanılarak aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$V_{sag} = 1 - \frac{S_{FLT}}{S_{PCC}} \quad (2.6)$$

Tablo 2.1. Farklı gerilim seviyeleri için tipik arıza seviyeleri [4]

Gerilim seviyesi	Arıza seviyesi
400 V	20 MVA
11 kV	200 MVA
33 kV	900 MVA
132 kV	3000 MVA
400 kV	17,000 MVA

Bu eşitlik arızalar süresince ortak bağlantı noktalarında başka gerilim seviyelerinde sarkma büyüklüğünü hesaplamak için kullanılır. Tablo 2.1'de tipik arıza seviyeleri dikkate alınmıştır.

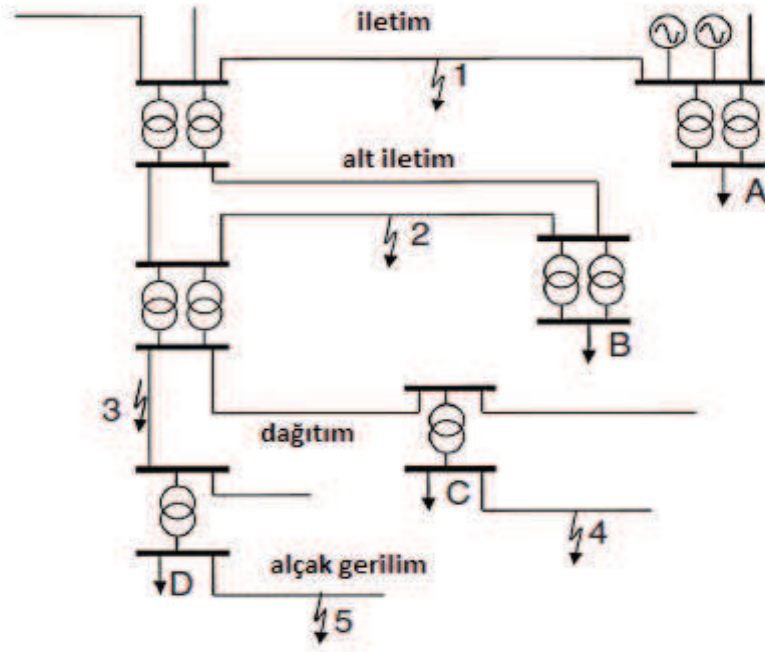
Bu veriler Tablo 2.2'deki verileri elde etmek için kullanılmıştır. Tablo 2.2 ortak bağlantı noktasından daha düşük gerilim seviyelerindeki kısa devre arızalarının etkilerini göstermektedir. Sarkmalar güç sisteminde yukarı doğru yayılırken, açık bir şekilde sönmümlü oldukları görülebilir.

Tablo 2.2. Gerilim sarkmasının yüksek gerilim seviyelerine yayılması [4]

Arıza:	Ortak bağlantı noktası (pcc)				
	400 V	11 kV	33 kV	132 kV	400 kV
400 V	—	90%	98%	99%	100%
11 kV	—	—	78%	93%	99%
33 kV	—	—	—	70%	95%
132 kV	—	—	—	—	82%

Şekil 2.6'da gösterilen dağıtım sistemi göz önüne alındığında, (1-5) arası numaralar arıza yerini, (A-D) arası harfler yükleri göstermektedir. İletim sistemindeki bir arıza,

arıza yeri 1, arızanın meydana geldiği hat ve alt sistemlerde ciddi sarkmalara neden olacaktır. Meydana gelen bu sarkma, bu iki alt sistemden beslenen tüm kullanıcılara doğru yayılacaktır. Alçak gerilim seviyesinde normal olarak generatör bağlantısı olmadığından, gerilimi dengeleyecek hiçbir şey yoktur. Bunun sonucu olarak (A, B, C, D) kullanıcılarının hepsi derin bir sarkmadan etkilenir. Alt iletim sistemine bağlanan generatörlerin gerilimi tutması sebebiyle, A yükünde sarkmadan etkilenme biraz daha hafif olacaktır. Arıza yeri 2'de meydana gelen bir arıza A kullanıcılarında az bir gerilim sarkmasıyla sonuçlanacaktır. İletim ve alt iletim sistemleri arasındaki transformatör empedansı, transformatörün yüksek gerilim tarafındaki gerilim alçalmasını sınırlandırabilecek kadar büyüktür.



Şekil 2.6. Yük (A-D) ve arıza (1-5) yerleri ile dağıtım sistemi [4]

Arıza yeri 2'de meydana gelen arıza alt iletim şubelerinde ve buradan beslenen bütün kullanıcılarda derin bir sarkmaya sebep olur (B, C ve D). Arıza yeri 3'de meydana gelen bir arıza, koruyucu ekipmanların arıza temizleme süresinin sonuna kadar D kullanıcılarında uzun veya kısa bir kesmeye neden olur. C kullanıcısı sadece derin bir sarkmayla karşı karşıya kalır. Arıza yeri 3'de meydana gelen bir arıza esnasında B kullanıcısı sığ bir sarkmaya maruz kalır. A kullanıcısı muhtemelen bu sarkmadan

etkilenmeyecektir. Arıza yeri 4'de meydana gelen bir arıza C kullanıcısı için derin bir sarkma ve D kullanıcısı için sığ bir sarkmaya neden olur. Arıza yeri 5'de meydana gelen arıza içinde benzer sonuçlar oluşacaktır. D kullanıcısı için derin bir sarkma, C kullanıcısı için sığ bir sarkma meydana gelir. Arıza 4 ve 5'den dolayı A ve B kullanıcılarının gerilimlerinde önemli değişikliğe neden olmayacaktır.

2.1.5. Kritik mesafe

(2.3) eşitliğinde arızaya mesafenin bir fonksiyonu olarak sarkma büyüklüğü verilmektedir. Bu eşitlikten gerilimin belirli bir büyüklüğünün sarkmasına hangi arıza mesafesinin neden olacağını elde edebiliriz. Eğer kaynak ve besleme hattının X/R oranını eşit kabul edersek aşağıdaki eşitliği elde ederiz:

$$d_{crit} = \frac{Z_S}{z} \times \frac{V}{1-V} \quad (2.7)$$

Bu mesafe V gerilim değeri için kritik mesafe olarak kabul edilir. Gerilim kritik gerilim seviyesinin altına düştüğü zaman, ekipmanlarda hata oluştuğunu varsayalım. Kritik mesafenin tanımı, kritik mesafe içinde meydana gelen her arıza ekipmanın hata vermesine neden olacaktır.

Tablo 2.3. Değişik gerilim seviyelerindeki arızalar için kritik mesafe

Nominal Gerilim	Kısa -Devre Seviyesi	Besleme Hattı Empedansı	Kritik Mesafe
400 V	20 MVA	230 mΩ/km	35 m
11 kV	200 MVA	310 mΩ/km	2 km
33 kV	900 MVA	340 mΩ/km	4 km
132 kV	3000 MVA	450 mΩ/km	13 km
400 kV	10000 MVA	290 mΩ/km	55 km

Bu kavram sarkma boyunca beklenen ekipman hata sayısını tahmin etmekte kullanılabilir[5]. Kritik mesafe farklı gerilim seviyeleri için tipik arıza seviyeleri ve besleme hattı empedansı kullanılarak hesaplanabilir. Kritik gerilimin %50 değeri için kullanılan veriler ve elde edilen sonuçlar Tablo 2.3.'de özetlenmiştir. Kritik mesafe yüksek gerilim seviyeleri için daha büyük değerlere ulaşır.

Ortak bağlantı noktasında kısa devre akımı I_{ft} 'nin bir fonksiyonu olarak (2.7)'de yazılan eşitlikle anlaşılır.

$$d_{crit} = \frac{V_{nom}}{zI_{ft}} \times \frac{V}{1-V} \quad (2.8)$$

V_{nom} ; nominal gerilimi, z ve I_{ft} değişik gerilim seviyeleri için benzer büyüklükler. (2.8) eşitliğinden çıkarılan sonuç, kritik mesafe gerilim seviyesinin artmasıyla orantılı olarak artmaktadır.

2.1.6. Kısa süreli gerilim sarkma süresi

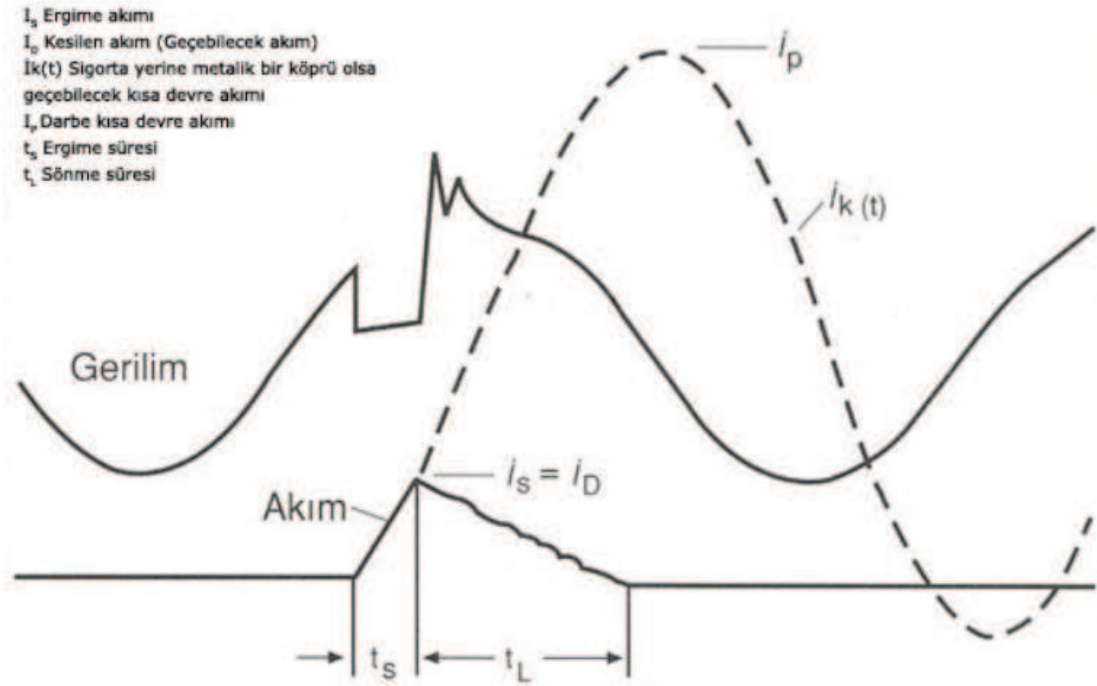
Kısa devre arızası koruyucu ekipmanlar tarafından temizlendiği an gerilim, arıza öncesi gerçek değerine dönmeye başlar. Her ne kadar normal sarkma süresi arıza temizleme zamanından büyük olsa da, bir kısa süreli gerilim sarkmasının süresi arıza temizleme zamanından elde edilir. Güç kalite izleyicileri için sarkma süresi açık olabilir fakat otomatik olarak gelen sarkma süresini hesaplamak o kadar basit değildir. Sarkma süresi için yaygın olarak kullanılan tanım; gerilimin etkin değeri verilen eşik değer altında kaldığı periyot sayısıdır. Bu eşik değer her izleme için farklı olabilir ama tipik değerleri nominal gerilimin %90'ı civarındadır. Güç kalitesi izlemesinde her periyot için gerilimin etkin değeri hesaplanır.

Asıl problem, arıza sonra devam eden sarkmanın sarkma süresini etkileyecek olmasıdır. Arıza temizlendiğinde, gerilim aniden eski değerine dönemez. Buda temel olarak indüksiyon motor yüklerinin yeniden enerji kazanmasından ve yeniden hızlanmasından dolayıdır [6]. Gerçek sarkmadan daha uzun olarak, arıza sonrası sarkma bir kaç saniye sürebilir. Sarkma süresiyle arıza temizleme süresinin eşit olmadığından daha önce bahsedilmiştir. Farklı güç kalitesi sistemleri sarkma süresi için farklı değerler verecektir. Gerilimin etkin değeri yavaşça eski değerine dönerken, eşik değer ayarında küçük bir değişiklik, kaydedilen sarkma sürelerinde ciddi farklılıklara neden olabilmektedir [4].

Genel olarak iletim sisteminde meydana gelen arızanın temizlenmesi, dağıtım sisteminde meydana gelen arızanın temizlenmesinden daha hızlı gerçekleşmektedir. İletim sistemlerinin kritik arıza temizleme zamanı oldukça küçüktür. Bundan dolayı hızlı koruma ekipmanları ve kesicilerin kullanımı zorunludur. Normal bir şebeke olarak işletilen iletim ve alt sistemleri de oldukça hızlı olan, mesafe veya diferansiyel korumaya ihtiyaç duyar. Dağıtım sistemlerinde korumanın temeli aşırı akım korumalarıdır. Bu bazen zaman derecelendirmeyi gerektirdiği için arıza temizleme zamanını arttırır. Arıza sınırlama sigorta kullanan sistemler bunun istisnasıdır. Bu şekildeki sistemler arızayı yarım periyotta temizleme kapasitesine sahiptir.

Değişik tipte koruyucu ekipman arıza temizleme zamanları;

- Akım sınırlayıcı sigortalar: 10 ms'den daha az
- Hızlı kesici ile mesafe rölesi: 50-100 ms
- Birinci bölge mesafe rölesi: 100-200 ms
- İkinci bölge mesafe rölesi: 200-500 ms
- Diferansiyel röle: 100-300 ms
- Aşırı akım rölesi: 200-2000 ms

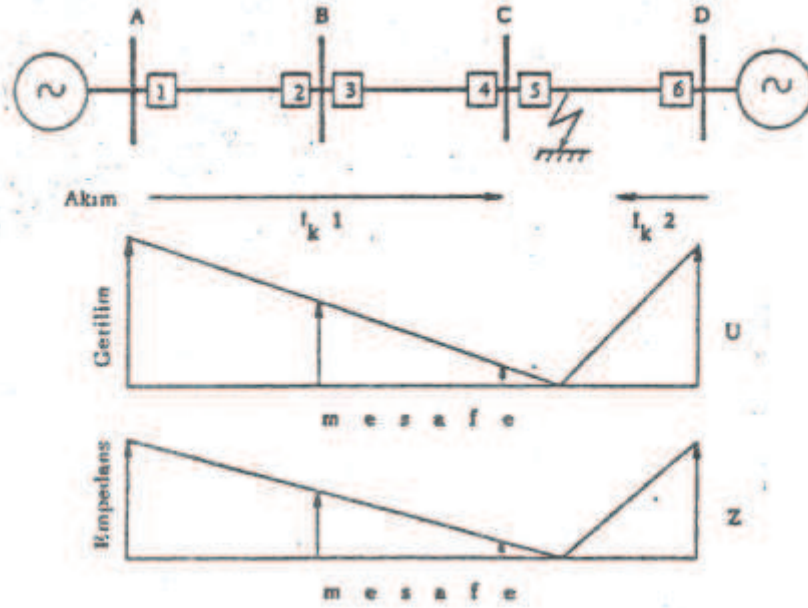


Şekil 2.7. Kısa devre akımının sınırlandırılması [7]

Akım sınırlayıcı sigorta: sigorta yerine direkt bir bara bağlı olsaydı kısa devre akımının değeri I_k olurdu. Sigortanın akım sınırlama değeri, devreden geçmesine müsaade edeceği akımdır (I_d) ve bu ancak sigorta telinin akımı I_s kadar büyük olabilir. Erime teli belirli yerlerinden başlayarak eriyecek ve buharlaşacaktır. Meydana gelen ark kuvarz kumu ile soğutulacaktır. Arkın sönme t_L süresince akım ark uzunluğunca azalacak ve gerilimin ilk sıfırdan geçişi sırasında tamamen kesilecektir.

Mesafe (empedans) rölesi: Enterkonnekte şebekeyi oluşturan enerji nakil hatlarında meydana gelen kısa devre arızalarında, arızalı kısmı tespit ederek devre dışı bırakan koruma rölesine mesafe rölesi denir. Genel olarak mesafe koruma röleleri hangi yapıda olursa olsun, hattın bir noktadaki akım ve gerilim değerlerinin karşılaştırılması esasına dayanır. Yani röle $Z=U/I$ değerine göre hattın empedansını ölçmektedir. Kısa devre arızasında hattın gerilim değeri azalır, akım değeri artar. Buna göre kısa devre empedansı, normal işletme koşullarına göre daha küçüktür. Rölenin ölçtüğü empedans değeri, arıza noktası ile röle arasındaki mesafeye bağlıdır. Empedans değeri hattın uzunluğu ile doğru orantılıdır. Mesafe koruma rölesinin ölçtüğü empedans, rölenin ayarladığı değerinin altında ise başlatma zincirini çalıştırır.

Başlatma zincirinin çalışması ile işlev yapması arasındaki aşamada, arıza akımının yönüne, uzaklığa göre açma verip vermeyeceği ve ne kadar süre sonra vereceği, ölçmeler sonucunda karar verir. Mesafe koruma rölesinin tam selektif (seçici) korumanın sağlanabilmesi için aşağıdaki ünitelerin zincirleme çalışması sonucu gerçekleşir. Bu üniteler başlatma ünitesi, yön ünitesi ve ölçme ünitesidir [8].

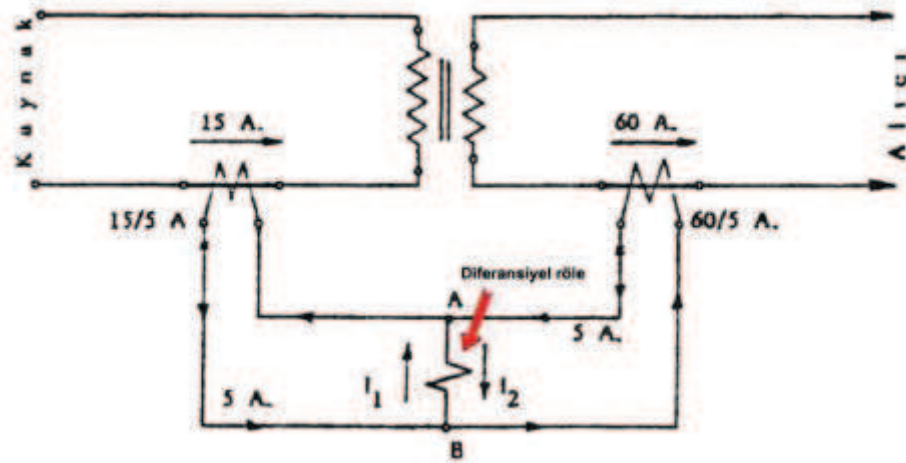


Şekil 2.8. Arıza anında akım-empedans grafiği [8]

Diferansiyel röle: Akım transformatörlerinin sekonder polarite uçları birbirine ters bağlanarak 180° faz farklı akımların oluşumu sağlanır ve bir akım rölesi yerleştirilir. Bu akım rölesine diferansiyel (farklı) röle denir. Havai hatların, kabloların, transformatörlerin ve alternatörlerin faz sargıları arasında bir izolasyon hatası sonucunda meydana gelen kısa devreleri en güvenilir şekilde tespit eden rölelerdir.

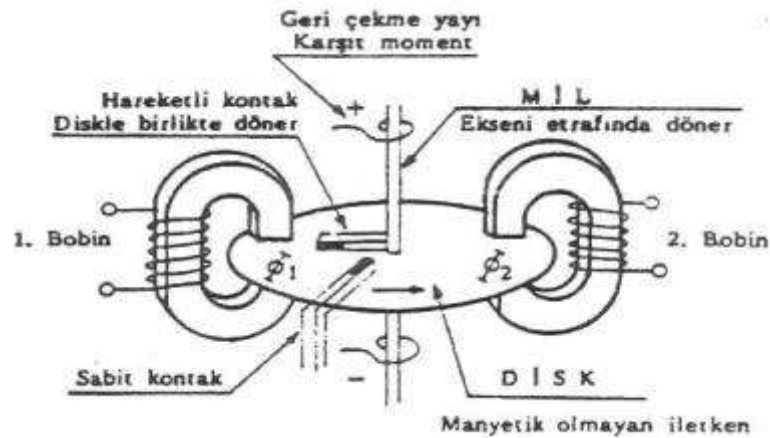
Diferansiyel rölenin çalışma prensibi, güç transformatörlerinin primer ve sekonder akımlarının karşılaştırılması esasına dayanır. Bu röleler, herhangi bir kısa devre sonucu kesiciler devreyi açmadıkları zaman görev yapar. Gereksiz yere açmaları önlemek için röleye, bir zaman rölesi eklenmiştir. Diferansiyel röle, korunacak olan sisteme akım transformatörler yardımıyla bağlanır (Şekil 2.9.). Korunan bölgeye giren ve çıkan akımların farkı alınır. Normal şartlarda ve koruma bölgesi dışındaki

arızalarda korunan bölgeye giren ve çıkan akımların genlikleri eşit olduğundan fark akımı sıfırdır. Diferansiyel röleye giren ve çıkan akımların genlik ve fazlarının dengelenmesi için gerekli hâllerde yardımcı akım transformatörleri kullanılır. Korunan bölge içinde bir arıza olduğunda, giren ve çıkan akımların genlikleri eşit olmayacak, bir fark akımı oluşacaktır. Bu akım rölenin ayar değerinin üzerinde ise röle açma kararı verecektir [9].



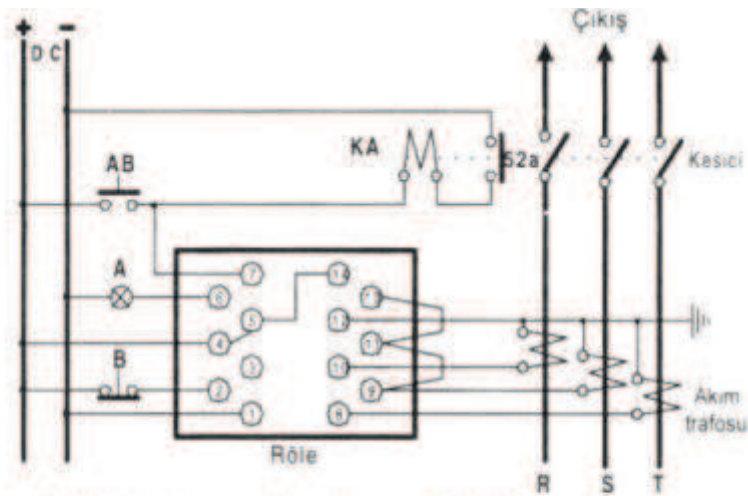
Şekil 2.9. Diferansiyel röle prensip şekli [8]

Aşırı akım rölesi: Elektromekanik sekonder aşırı akım röleleri elektromanyetik, endüksiyon disk ve elektrodinamik ilkesine göre çalışan rölelerdir. Elektromanyetik prensibine göre dış devreden geçen aşırı akım, röle bobinini çalıştırır. Röle bobini kesici açma butonu çalıştığında nüvesini çekerek kesiciyi kumanda eder ve kesicide devreyi açar. Endüksiyon disk ilkesine göre çalışan rölelerde ise manyetik devrenin akısı, iletken diskte endüklenen akımlara bir kuvvet etkiyerek diski döndürür ve kontağı kapatır. Elektrodinamik röleler ise içinden akım geçen iki bobinden birisinin diğer bobinin manyetik alan içerisinde hareket etmesi prensibine göre çalışır. Rölelerde bayrak tertibatı 8 mevcuttur. Bu tertibat rölenin çalıştığını belirten bir işarettir. Rölenin görülebilecek en uygun yerine yerleştirilen bu işaretin görünmesi durumuna “röle bayrağı düştü” denilir. Rölenin dış kısmından bir kol çevrilerek veya bir butona basılarak normal konuma getirilir yani silinir.



Şekil 2.10. Endüksiyon röle çalışma prensip şeması [9]

Elektronik, mikroişlemcili rölelerde ise röle, içinde bulunan yardımcı akım transformatörleri yoluyla ana akım transformatöründen aldığı akım bilgisini elektronik devrelere aktararak motor veya koruduğu sistemin akımını ölçer ve bu ölçülen akım değeri, ayarlanan akımın üstünde ise koruduğu sistemi devreden çıkarır.

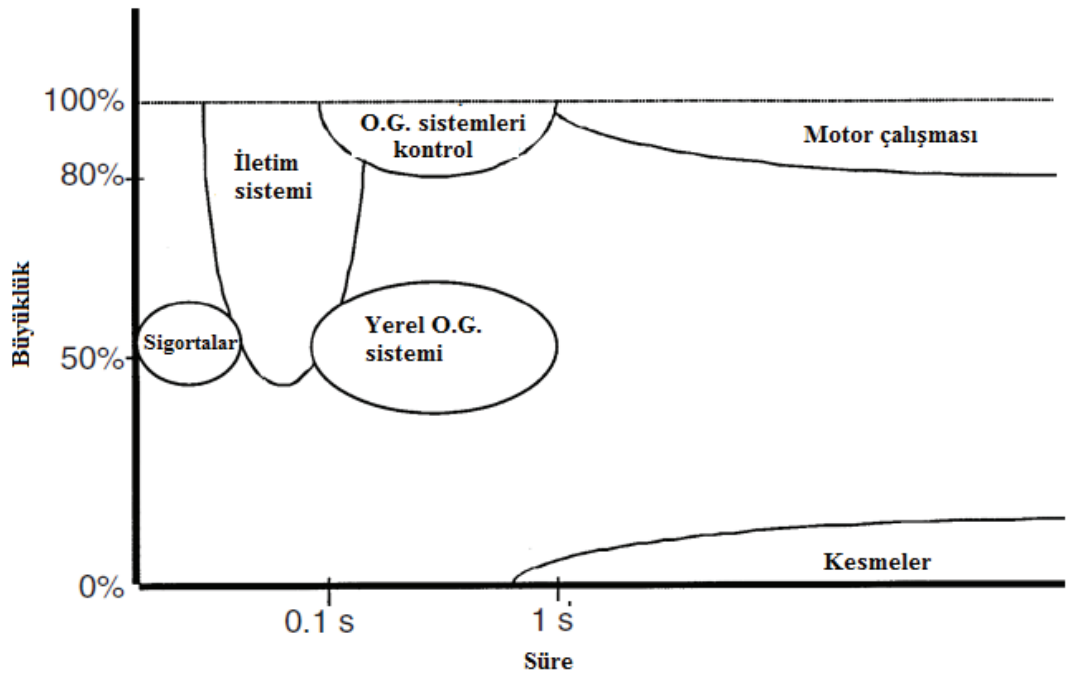


- A: Koruma Rölesi kesiciye açma kumandası verdi lambası
- B: Koruma Rölesi sinyal silme butonu
- AB: Kesici Açma butonu
- KA: Kesici Açma bobini
- 52a: Kesici hareket sonu kontağı (Kesici açık iken açıktır.)

Şekil 2.11. Ani çalışan sekonder aşırı akım rölesi prensip şeması [9]

Gerilim sarkmasının büyüklük ve süresinin bilinmesiyle, bir noktanın büyüklük-süre düzlemi oluşturulabilir. Bu şekilde yapılan bir gerilim sarkma tanımlaması çeşitli çalışmalar için kullanışlı olabilir. Aşağıdaki arızalardan kaynaklanan sarkmalar Şekil 2.12.'de gösterilmiştir.

1. İletim sistemi arızaları
2. O.G. sistemi kontrol arızaları
3. Yerel O.G. sistemi arızaları
4. Büyük güçlü motorların çalışması
5. Kesmeler
6. Sigortalar

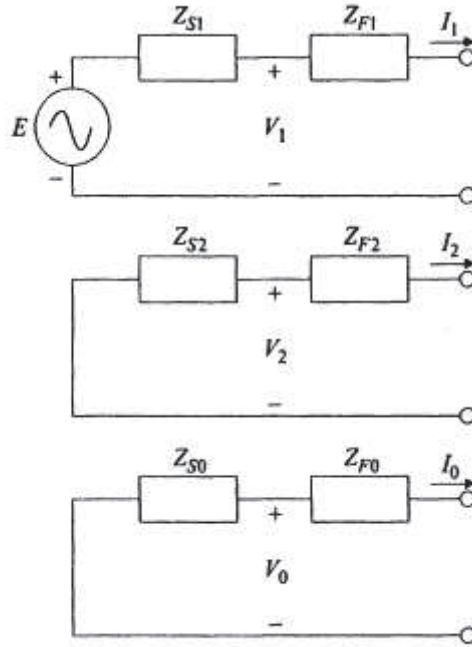


Şekil 2.12. Bir Büyüklük-Süre grafiğinde farklı kaynaklı sarkmalar [4]

2.1.7. Üç faz dengesizliği

Önceki bölümlerde anlatılan gerilim sarkma büyüklükleri tez faz içindi. Örneğin Şekil 2.4.'de anlatılan gerilim bölücü model üç faz arızalar içindir. Şekilde kullanılan empedans değerleri pozitif dizi empedans değerleridir. Güç siteminden meydana gelen çoğu arıza ise tek faz veya iki faz arızalarıdır. Bu durumda bütün gerilim değerlerini hesaba katmaya ihtiyaç duyarız veya simetrik bileşenler teorisini kullanırız. Burada bir asimetrik kısa devre arızasında oluşan gerilim değerlerinin hesaplanmasında bu teorisinin sonuçlarını kullanacağız.

Şekil 2.4.'deki gerilim bölücü model asimetrik arızalar için kullanılabilir ama bu üç bileşenle ele alınmalıdır; pozitif, negatif ve sıfır dizi bileşen değerleriyle. Üç bileşenin bağlantıları Şekil 2.13.'de gösterilmiştir. Şekil 2.13.'de gösterilen V_1, V_2 ve V_0 ortak bağlantı noktasındaki pozitif, negatif ve sıfır bileşen gerilimlerini, Z_{S1}, Z_{S2} ve Z_{S0} kaynak empedans değerlerini ve Z_{F1}, Z_{F2} ve Z_{F0} bara empedans değerlerini göstermektedir. Üç bileşen arıza akımları I_1, I_2 ve I_0 olarak kullanılmıştır. Pozitif bileşen gerilim değeri E olarak kullanılmıştır. Negatif ve sıfır bileşenlerinde kaynak yoktur. Bileşenlerin bağlantıları arıza türüne göre değişmektedir.



Şekil 2.13. Şekil 2.4'de gösterilen gerilim bölücü devre için pozitif (üst), negatif (orta) ve sıfır (alt) dizi bileşenleri

2.1.7.1. Tek faz arızalar

Tek faz arızalar için Şekil 2.13'de gösterilen bileşenlerin bağlantı şekli Şekil 2.14'te gösterildiği gibi olmalı. A fazında meydana gelen bir tek faz arıza sonucu oluşan devre Şekil 2.14'te gösterilmiştir. $E=1$ olarak kabul edersek ortak bağlantı noktasındaki gerilimleri aşağıdaki eşitliklerden elde edebiliriz.

$$V_1 = \frac{Z_{F1} + Z_{S2} + Z_{F2} + Z_{S0} + Z_{F0}}{(Z_{F1} + Z_{F2} + Z_{F0}) + (Z_{S1} + Z_{S2} + Z_{S0})} \quad (2.9)$$

$$V_2 = \frac{Z_{S2}}{(Z_{F1} + Z_{F2} + Z_{F0}) + (Z_{S1} + Z_{S2} + Z_{S0})} \quad (2.10)$$

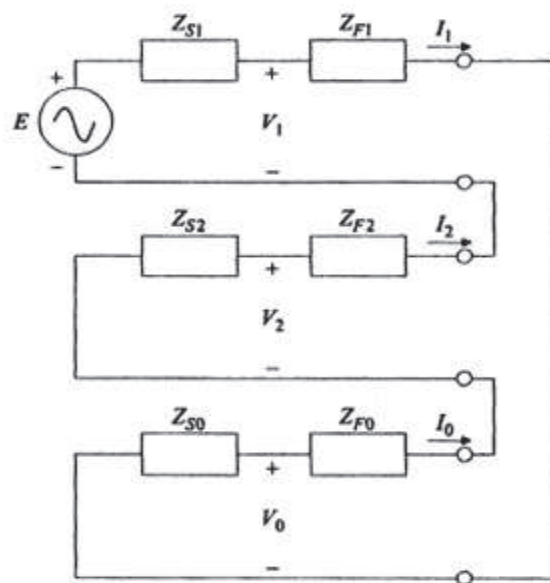
$$V_0 = \frac{Z_{S0}}{(Z_{F1} + Z_{F2} + Z_{F0}) + (Z_{S1} + Z_{S2} + Z_{S0})} \quad (2.11)$$

Arıza esnasında ortak bağlantı noktasının üç faz gerilimlerini bileşen domeninden faz domenine geçerek elde ederiz.

$$\begin{aligned} V_a &= V_1 + V_2 + V_0 \\ V_b &= a^2 V_1 + a V_2 + V_0 \\ V_c &= a V_1 + a^2 V_2 + V_0 \end{aligned} \quad (2.12)$$

Arızalı faz için V_a gerilimi,

$$V_1 = \frac{Z_{F1} + Z_{F2} + Z_{F0}}{(Z_{F1} + Z_{F2} + Z_{F0}) + (Z_{S1} + Z_{S2} + Z_{S0})} \quad (2.13)$$



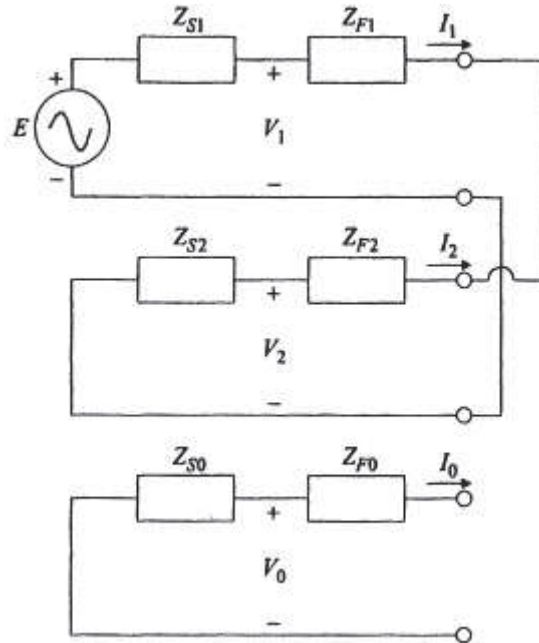
Şekil 2.14. Tek faz arıza için eşdeğer devre

Gerilim bölücü eşitliklerini $Z_F=Z_{F1}+Z_{F2}+Z_{F0}$ ve $Z_S=Z_{S1}+Z_{S2}+Z_{S0}$ şeklinde tanımlayarak elde edebiliriz. Yukarıdaki eşitliklerden arıza olmayan fazların gerilimini hesaplayabiliriz.

$$\begin{aligned}
 V_a &= 1 - \frac{Z_{S1} + Z_{S2} + Z_{S0}}{(Z_{F1} + Z_{F2} + Z_{F0}) + (Z_{S1} + Z_{S2} + Z_{S0})} \\
 V_b &= a^2 - \frac{a^2 Z_{S1} + a Z_{S2} + Z_{S0}}{(Z_{F1} + Z_{F2} + Z_{F0}) + (Z_{S1} + Z_{S2} + Z_{S0})} \\
 V_c &= a - \frac{a Z_{S1} + a^2 Z_{S2} + Z_{S0}}{(Z_{F1} + Z_{F2} + Z_{F0}) + (Z_{S1} + Z_{S2} + Z_{S0})}
 \end{aligned} \tag{2.14}$$

2.1.7.2. Faz faz arası arızalar

Faz faz arası arızalarda pozitif ve negatif bileşenler paralel bağlanır. Bağlantı şekli Şekil 2.15.'de gösterilmiştir. Faz-faz arızaları için sıfır bileşen akım ve gerilimleri sıfırdır.



Şekil 2.15. Faz faz arızası için eşdeğer devre

$$\begin{aligned}
V_1 &= E - E \frac{Z_{S1}}{(Z_{S1} + Z_{S2}) + (Z_{F1} + Z_{F2})} \\
V_2 &= \frac{Z_{S2}}{(Z_{S1} + Z_{S2}) + (Z_{F1} + Z_{F2})} \\
V_0 &= 0
\end{aligned} \tag{2.15}$$

Faz gerilimleri (2.12) eşitliği kullanılarak (2.15) eşitliğinde elde edilebilir. E=1 kabul edilerek elde edilen eşitlikler;

$$\begin{aligned}
V_a &= 1 - \frac{Z_{S1} - Z_{S2}}{(Z_{F1} + Z_{F2}) + (Z_{S1} + Z_{S2})} \\
V_b &= a^2 - \frac{a^2 Z_{S1} - a Z_{S2}}{(Z_{F1} + Z_{F2}) + (Z_{S1} + Z_{S2})} \\
V_c &= a - \frac{a Z_{S1} - a^2 Z_{S2}}{(Z_{F1} + Z_{F2}) + (Z_{S1} + Z_{S2})}
\end{aligned} \tag{2.16}$$

Bileşen akım ve gerilimlerinin hesaplanmasında, b ve c fazları arasındaki arıza değerlendirildi. A fazı arıza olmayan faz, b ve c fazları arızalı fazlar. (2.16) eşitliğinden arızalı olmayan fazdaki gerilimin düşmesi, pozitif ve negatif empedans bileşenleri arasındaki farktan kaynaklanır. Normalde eşit olmasına rağmen, arızalı olmayan fazdaki gerilim faz faz arızadan etkilenmez. $Z_{S1}=Z_{S2}$ kabul edildiği durumda (2.16) eşitliği aşağıdaki eşitliğe dönüşür.

$$\begin{aligned}
V_a &= 1 \\
V_b &= a^2 - \frac{(a^2 - a)Z_{S1}}{2Z_{S1} + 2Z_{F1}} \\
V_c &= a + \frac{(a^2 - a)Z_{S1}}{2Z_{S1} + 2Z_{F1}}
\end{aligned} \tag{2.17}$$

Arızalı fazlardaki gerilim düşümleri, $\frac{Z_{S1}}{2Z_{S1} + 2Z_{F1}}$ büyüklüğüne eşittir.

2.1.7.3. İki faz toprak arızası

Tek faz ve faz faz arızaları önceki iki bölümde açıklandı. Kalan tek asimetrik arıza tipi iki faz toprak arızasıdır. İki faz toprak arızası için bileşenler Şekil 2.16'da gösterildiği gibi paralel bağlanır. Tek faz ve faz faz arızalarında olduğu gibi üç fazın gerilim bileşenlerini hesaplamak mümkündür. Ortak bağlantı noktasında b,c fazları ve toprak arasında meydana gelen arızada bileşen gerilimleri;

$$\begin{aligned} V_1 &= 1 - \frac{Z_{S1}(Z_{S0} + Z_{F0} + Z_{S2} + Z_{F2})}{D} \\ V_2 &= \frac{Z_{S2}(Z_{S0} + Z_{F0})}{D} \\ V_0 &= \frac{Z_{S0}(Z_{S2} + Z_{F2})}{D} \end{aligned} \quad (2.18)$$

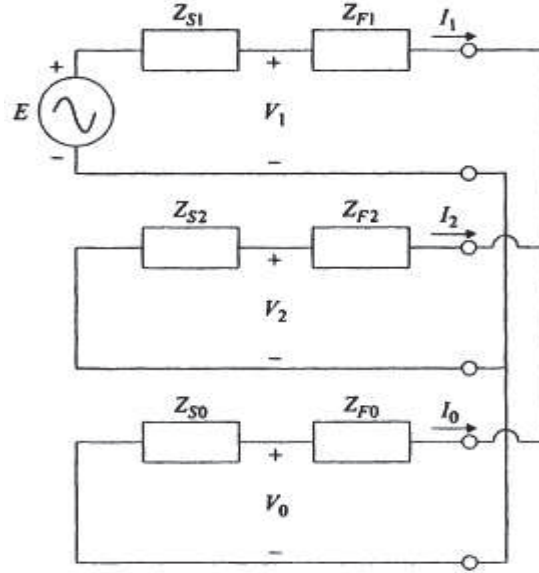
$$D = (Z_{S0} + Z_{F0})(Z_{S1} + Z_{F1} + Z_{S2} + Z_{F2}) + (Z_{S1} + Z_{F1})(Z_{S2} + Z_{F2}) \quad (2.19)$$

(2.18) eşitliğinde üç fazın faz toprak gerilimleri hesaplanabilir.

$$\begin{aligned} V_a &= 1 + \frac{(Z_{S2} - Z_{S1})(Z_{S0} + Z_{F0})}{D} + \frac{(Z_{S0} - Z_{S1})(Z_{S2} + Z_{F2})}{D} \\ V_b &= a^2 + \frac{(aZ_{S2} - a^2 Z_{S1})Z_0}{D} + \frac{(Z_{S0} - a^2 Z_{S1})Z_2}{D} \\ V_c &= a + \frac{(a^2 Z_{S2} - a Z_{S1})Z_0}{D} + \frac{(Z_{S0} - a Z_{S1})Z_2}{D} \end{aligned} \quad (2.20)$$

Arıza olmayan fazda (V_a) gerilim değişimine neden olan iki etmen vardır. Kaynak empedansının pozitif ve negatif bileşenleri arasındaki fark ve kaynak empedansının pozitif ve sıfır bileşenleri arasındaki fark. Pozitif bileşen empedansı yükseldiği zaman bu iki etmen arıza olmayan fazın gerilimini etkiler. (2.20)'de, negatif ve pozitif bileşen empedansları birbirine çok yakın olduğu için ihmal edilebilir. Kaynak empedansı sıfır ve pozitif bileşenleri arasındaki farka dayanan üçüncü terimler ciddi gerilim değişimlerine neden olurlar. Kaynak empedansının sıfır bileşen değeri

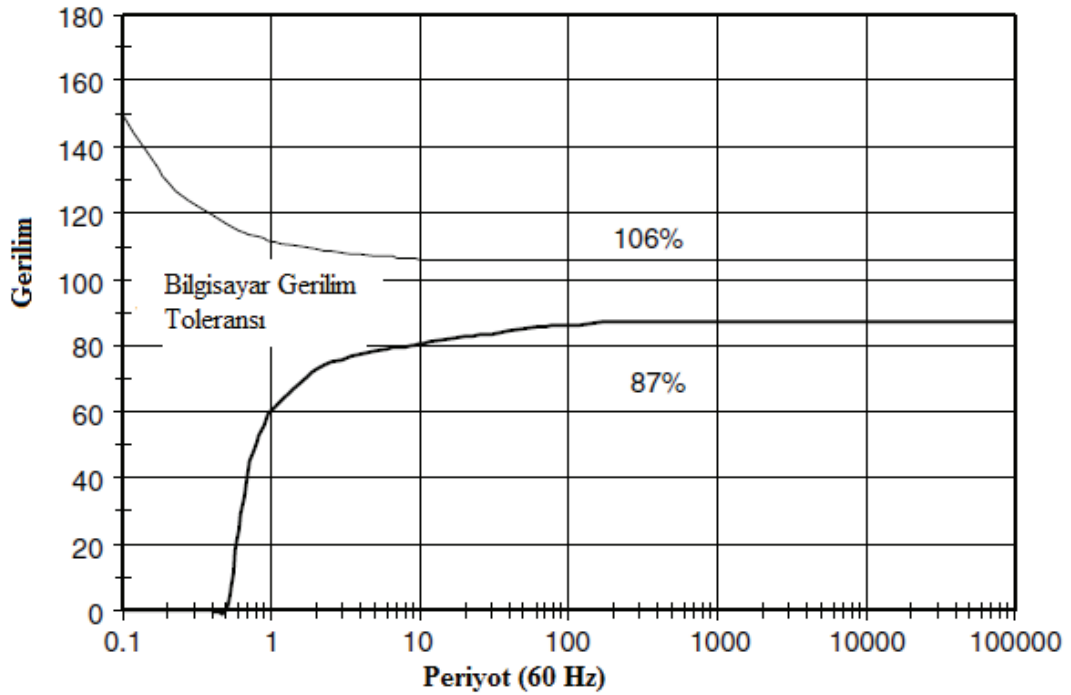
genellikle pozitif bileşen değerinden büyük olduğu için arıza olmayan fazın geriliminde bir yükselme beklenebilir.



Şekil 2.16. İki faz toprak arızası için eşdeğer devre

2.2. CBEMA ve ITIC Eğrileri

Güç kalitesini tanımlamak için en sık kullanılan verilerden biri CBEMA eğrisidir. Bu CBEMA eğrisi, asıl olarak bilgisayar tabanlı çalışan cihazların güç sisteminde meydana gelen gerilim değişimlerine toleransını tanımlamak için geliştirilmiştir. Bir çok modern bilgisayarın gerilim değişimlerine karşı toleransı yüksek olsa da, eğri, hassas cihazların üretilmesi aşamasında uyulması gereken bir standart hedefi haline almıştır [1]. Farklı tiplerdeki elektrikli cihazlar farklı gerilim dayanımlarına sahiptirler. Endüstriyel işlemlerde kullanılan cihazlar kısa süreli gerilim sarkma problemlerinden kolayca etkilenebilirler, çünkü cihazlar birbirine bağlıdır ve herhangi bir bileşenin sistem içinde yer değiştirmesi tüm sistemin devre dışı kalmasına sebep olabilmektedir.

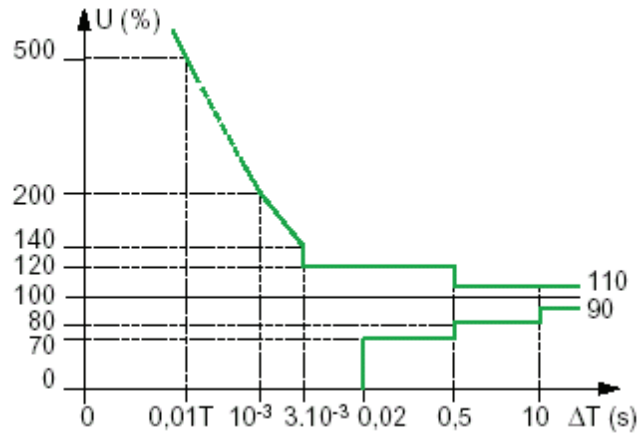


Şekil 2.17. CBEMA Eğrisi [1]

Şekil 2.17. verilen eğriye göre; iki eğri arasında gerilim problemlerinin genlik ve sürekliliği bilgisayarda problem yaratmaktadır. İki eğri arasındaki bölüm gerilim dayanımını ifade etmektedir. IEC 61000-4-11 [10] standardı, düşük gerilimli şebekelere bağlı elektrikli ve elektronik cihazların kısa süreli gerilim sarkmalarına, kısa devrelere ve gerilimdeki değişimlere karşı yapılan dayanıklılık test metotlarını ve tercih edilen test seviyelerinin sıralarını açıklamaktadır. Bu standartta gerilim-dayanıklılık eğrisinin süresinden söz edilmemektedir. Sadece test edilen cihazlar için kısa süreli gerilim sarkmalarının genlik ve süreklilik tercihleri açıklanmaktadır.

Günümüzde bilgisayarlar (bilgisayarlar, ölçüm cihazları) tesisatların, yönetimin ve üretimin izlenmesinde, kontrol ve kumanda edilmesinde hakim bir konuma sahiptir. Tüm bu cihazlar, etkin gerilimin %10'undan fazla olan gerilim düşümlerine karşı duyarlıdır. Şekil 2.18. eğrisinde, ITIC (Bilgisayar Endüstri Konseyi), bilgisayarların; gerilim sarkmalarına, kesintilere ve aşırı gerilimlere nasıl dayandığını gösteren, süre-genlik eğrisi verilmiştir. Bu CBEMA eğrisinin yenilenmiş halidir. Yenilenmiş bu eğriye ITIC eğrisi denilmiştir. Bu limitlerin dışında gerçekleşen çalışma, veri kaybına, yanlış komutlara ve cihazın kapanmasına veya arızalanmasına neden olur.

Cihazlarda işlev kaybının sonuçları, özellikle gerilim eski haline geldiğinde, yol verme koşullarına dayanmaktadır. Belirli cihazlar, örneğin kendine ait gerilim sarkmasını belirleyen cihazlarına sahiptir. Bu özellik, verilerin yedeklenmesini ve hesaplama süreçlerini ve herhangi bir yanlış komutu engelleyerek cihazın güvenliği sağlamaktadır.



Şekil 2.18. ITIC eğrisi (bilgisayarların gerilim sarkmalarına, kesintilere ve aşırı gerilime karşı dayanım karakteristiği)

BÖLÜM 3. KISA SÜRELİ GERİLİM SARKMALARININ HAFİFLETİLMESİ

Kısa süreli gerilim sarkmalarından kaynaklanan problemleri hafifletmek için ilk olarak hafifletmenin çeşitli yollarını ve ekipmanda sekmeye neden olan mekanizmaları anlamaya ihtiyaç duyulur. Ekipman sekmesi hangi olayı problem yapar. Eğer ekipman sekmesi yoksa, gerilim sarkma problemi yoktur. Ekipman sekmesinin temel nedeni bir kısa devre arızasıdır. Arıza yerinde gerilim sıfıra veya sıfıra çok yakın bir değere düşer. Bu sıfır gerilim ekipman ve güç sistemi arasındaki ara yüzde büyüklük ve sürenin değişimine neden olur. Kısa devre arızaları bazı kullanıcılar için her zaman gerilim sarkmalarına neden olacaktır. Eğer arıza sistemin radyal kısmında meydana gelirse, koruma müdahalesi arızayı temizleyerek bir kesmeye neden olur. Eğer yeterli direnç varsa kısa devre sadece gerilim sarkmasına neden olur. Olay belirli bir şiddeti aşarsa, ekipman sekmesine neden olur.

Bu nedenler üzerine temellendirilerek, aşağıdaki hafifletme metotları arasından ayırmak mümkündür.

- Kısa devre arıza sayısını azaltma,
- Arıza temizleme zamanını azaltma,
- Kısa devre arızalarının kullanıcı ara yüzünde ve ekipman uçlarında daha kararlı olan sistemle değiştirmek.
- Besleme ve duyarlı ekipmanlar arasına arıza etkilerini hafifletici ekipmanlar bağlamak,
- Sistemde bulunan ekipmanların arıza dayanıklılığını arttırmak.

3.1. Arıza Sayısını Azaltma

Sistemdeki kısa devre arıza sayısını azaltmak sadece sarkma frekansını azaltmaz aynı zamanda uzun kesmelerin frekansını da azaltır. Besleme kalitesini artırmanın en etkili yolu budur. Bir gerilim sarkması veya kesme meydana geldiğinde bir çok kullanıcıda bu açık çözümü önermektedir. Bir kısa devre, kullanıcı ara yüzünde sadece gerilim sarkması veya kesme meydana getirmez aynı zamanda tesis ve kullanılan ekipmanların zarar görmesine neden olur. Arıza azaltma için kullanılan yöntemlerden bazıları:

- Havai hatları yeraltı kabloları ile değiştirmek; Kısa devre arızalarının çoğunlukla doğa olayları ve çevre koşullarından kaynaklanan nedenlerden meydana gelmektedir. Yeraltı kablolarının kullanılmasıyla doğa olayları ve çevre koşullarının etkileri hafifletilmiş olur.
- İlave koruyucu teller yerleştirmek; Yıldırımların neden olduğu arızaları azaltmak için koruyucu teller yerleştirilir. Koruma teli, yıldırımdan kaynaklanan darbeyi üzerine çekip daha sonra bunu toprağa aktaracak biçimde konumlandırılmalıdır.
- Sistemin yüklenme durumunun değerlendirilmesi; Sistemde arıza riskini arttıran diğer kaynaklardan biride aşırı yüklenmelerden kaynaklanan ısınmalardır. Bu yüzden aşırı yüklenme olmayacak şekilde sistemde yük dağılımının gerçekleştirilmesi, sarkma sıklığının hafifletilmesinde önem taşır.
- Havai hat için özel tel kullanmak.
- Ağaç budama konusunda sıkı politikalar uygulamak.
- Bakım-onarım sıklığını arttırmak.

Akılda tutulması gereken, her ne kadar bu çözümler çok pahalı olsa da, özellikle iletim sistemi için maliyetler ekipman sekme maliyetlerini azaltmaktadır.

3.2. Arıza Temizleme Zamanını Azaltma

Arıza temizleme zamanının azaltılması olay sayısını azaltmaz, sadece arızanın şiddetini azaltır. Sistemdeki arızanın hızlı temizlenmesi sarkma sayısını azaltmaz ama sarkma süresini anlamlı bir şekilde sınırlar. Kesintiler içinse, kesinti süre ve sıklığına bir etkisi yoktur. Arıza temizleme zamanının nihai azaltılmasına ulaşmak için akım sınırlayıcı sigortalar kullanılır. Sigortalar arızayı yarım periyot içinde temizleyebilir. Statik devre açıcılarda aynı karakteristik özelliktedir ve arıza temizleme zamanı yarım periyotta gerçekleşir. Orta ve yüksek gerilimlerde kullanılan devre kesicileri akım sınırlayıcı sigortalara göre daha maliyetli olmasına rağmen arızayı aynı sürede temizleyebilir. Arıza temizleme zamanı kesicinin açma zamanı ile birlikte rölenin arıza anında karar verme süresini de içerir. Ayrıca bazı akım-arıza sınırlayıcılar arızanın tamamen temizlenmemesini önerir ama bir veya iki periyotta arıza akım büyüklüğünü azaltır. Tüm bu araçların önemli bir kısıtlaması bu araçlar sadece alçak gerilim ve orta gerilim sistemlerinde kullanılabilirler. Maksimum işletme gerilimi 10-20 kV'lar civarındadır.

Arıza temizleme zamanı sadece kesicileri açmak için zamana ihtiyaç duymaz, aynı zamanda koruyucular açmaya karar vermek içinde zamana ihtiyaç duyar. Arıza temizleme zamanında ciddi bir azalmaya ulaşmak ciddi seçicilik kayıplarına neden olabilir. İletim sisteminde arıza temizleme zamanının azaltılması, bazı durumlarda, daha hızlı devre kesicileri faydalı olabilir. Bu arıza temizleme zamanı dışında mesafe korumasında röle seçicilik ayar değerlerinde de sınırlama getirir. Ayrıca bu kesicilerin maliyeti yüksektir. Seçicilikte, gecikme ayarlarında belirli bir azalma mümkündür. Ancak bu normal koşullarda arıza giderme zamanını azaltmada fazla etkili olmayabilir.

3.3. Güç Sistemini Değiştirme

Besleme sisteminde değişiklikler yapmakla olayların şiddetleri azaltılabilir. İletim ve alt iletim sistemleri için maliyetler çok yüksek olabilir. Endüstriyel sistemler için

tasarım aşaması da dahil edilince yüksek olmaktadır. Özellikle direk gerilim sarkmalarına karşı azaltma yöntem örneklerinden bazıları:

- Hassas yüklerin yanına generatör yerleştirmek. Uzakta meydana gelen bir sarkma anında generatörler, gerilimin sabit tutulmasında destekleyici konumdadır.
- Açık alanda beslemelerin sayısını sınırlandırmak için besleme yollarında ayırık baralar veya şubeler kullanmak.
- Arızaya elektriksel mesafeyi arttırmak için, sistemde stratejik yerlere akım sınırlayıcı bobin yerleştirmek. (Bu yöntem uygulanırken sistemin en uygun teri seçilmelidir aksi takdirde gerilim sarkması diğer kullanıcılar için daha şiddetli hale gelebilir).
- Gerilim değişimine hassas olan cihazın bulunduğu baranın iki veya daha fazla noktadan beslemesinin yapılması: Bu şekildeki sistemlerde bir alt istasyonda meydana gelen sarkma, diğer alt istasyondan besleme vasıtasıyla azaltılabilir. Daha çok bağımsız şube, daha çok hafifletici etkidir. En etkili yol iki farklı noktadan beslemektir. İkinci nokta sarkma genliğinin şiddetini azaltmakla beraber gerilim sarkma sıklığını artmasına neden olur.

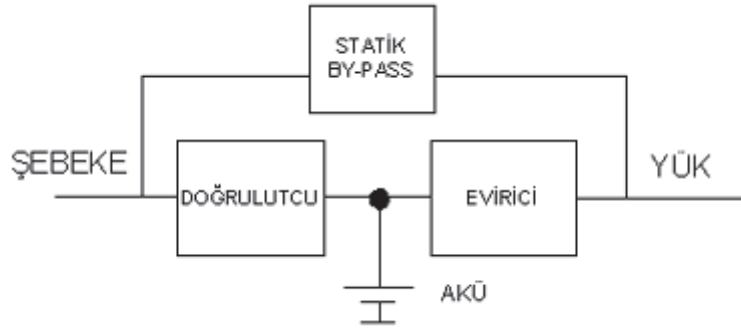
3.4. Hafifletme Ekipmanları Yerleştirme

Sarkmaları hafifletmek için kullanılan en yaygın metot, sistem ekipman ara yüzüne ilave ekipmanlar yerleştirilmesidir. Hafifletme ekipmanlarının bazıları:

- UPS (Kesintisiz güç kaynağı (KGK)): Gerilim sarkmaları ve kesilmelere karşı düşük güçlü (bilgisayar, PLC, gibi) ekipmanları korumak için kullanılan en yaygın cihazdır. KGK'nın temel fonksiyonu, normal güç kaynağında meydana gelen kısmi veya tam arıza anında kullanıcı ekipmanının ihtiyaç duyduğu gücün sürekliliğinin sağlamaktır [9]. Sarkma veya kesilme boyunca güç beslemesi bir iç bataryadan sağlanır. Batarya yükü tipik olarak 15-30 dakika arasında besleyebilir. Şebekeden gelen AC gücü

doğrultarak DC güç olarak bataryasına yükler. Daha sonra DC güç AC'ye dönüştürerek yüke uygulanır (Şekil 3.1.)

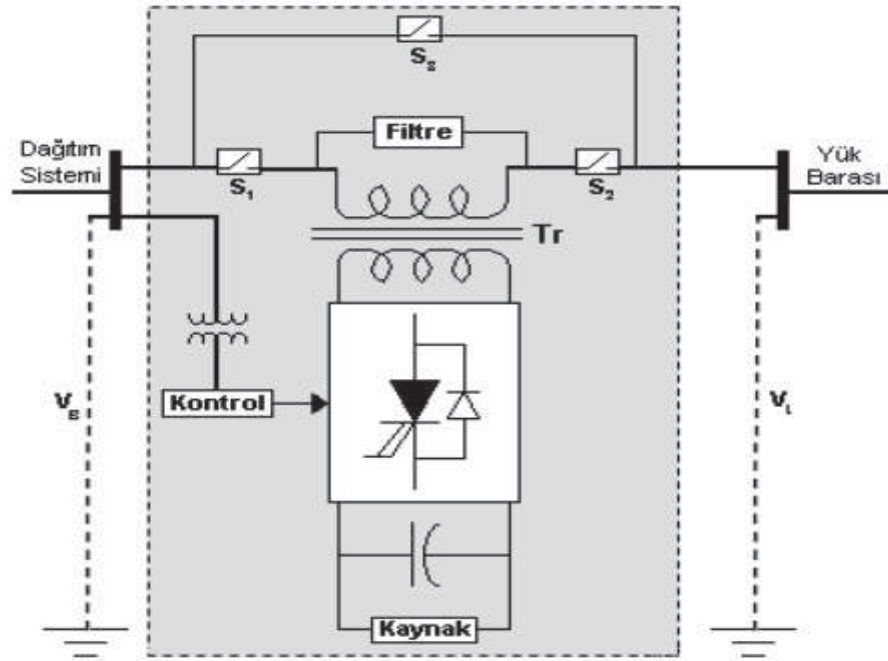
KGK'ler; çevrim içi, yedekleme, karma modlardan birinde çalışmak üzere tasarlanmış olabilir. Çevrim içi çalışmada, yük her zaman KGK'den beslenir, aynı zamanda normal çalışmada yedekleme modunda çalışırken yüke bağlanan yardımcı beslemedir ve herhangi bir bozucu etki ile karşılaşıldığında otomatik olarak anahtar yükü KGK'ın çıkışına bağlar. Hibrit modunda gerilim regülâtörü, gerilim regülasyonunu sağlamak için KGK'ın çıkışına bağlanır [12]. Her durumda gerilim sarkmasını engellemek için KGK'ler yeterli olmayabilir. Örneğin değişken hız sürücüleri KGK tarafından beslenmek için çok büyüktür. Bundan dolayı KGK'lerin genel kullanıcıları bilgisayar ve bilgisayar tabanlı ekipmanlardır.



Şekil 3.1. KGK bağlantı şekli

- Statik transfer değiştiricisi: Bir statik transfer değiştiricisi sarkmayla birlikte yükü beslemeden başka bir besleme kaynağına bir kaç milisaniye içinde aktarır. Bu sarkmayı yarım periyottan daha az olacak şekilde sınırlandırır. Burada ulaşılabilir bir yedek besleme kaynağı olduğu varsayılmıştır.
- DVR (Dinamik gerilim yenileyicisi (DGY)): Bu cihaz yükle besleme arasına seri gerilim kaynağı eklemek için modern güç elektroniği bileşenleri kullanır. Gerilim kaynağı sarkma boyunca gerilim alçalmasını karşılar. Bazı cihazlar sistem vasıtasıyla aktif güç beslemesinde alçalmayı telafi edebilmek için iç enerji depolayıcısı kullanır. Onlar sadece bir maksimum süreye kadar sarkmayı hafifletebilir. Diğer cihazlar aynı aktif gücü besleyiciden akımın

yükselmesiyle alırlar. Bu sarkmayı sadece belli bir minimum genişliğe kadar hafifletebilir. Bu sistem, sistemin eşdeğer empedansını değiştirerek gerilimi sabit tutmaktadır. İletim veya dağıtım sistemlerinde, kısa devre hatalarının neden olduğu gerilim düşmelerinin önüne geçilmesinde ise reaktif güç kontrolü yanında, aktif güç kontrolü de yapabilen ayarlı gerilim kaynaklarına, DGY sistemlere ihtiyaç vardır [13].



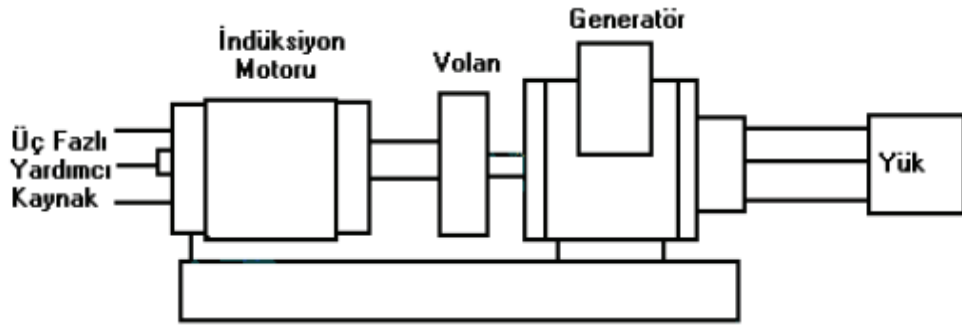
Şekil 3.2. DVRın temel yapısı [13]

Şekil 3.2.'de DGY sisteminin temel bileşenleri görülmektedir. Buna göre DGY, bir hata sırasında oluşan gerilim düşümünü önlemek için bir transformatör üzerinden iletim hattına seri olarak $V_{G(t)}$ gerilimini verecektir. Her bir fazın gerilimi ayrı ayrı denetlenerek yük uçlarındaki gerilim sabit tutulmaktadır. Dolayısıyla, DGY sistemde oluşan geçici durumlar sırasında eşdeğer bir gerilim kaynağı olarak çalışmaktadır. Şebeke geriliminde bir düşme olmadığı durumda, DGY'nin bara geriliminin izlenmesi haricinde bir işlevi yoktur.

- Motor-generatör (M-G) seti: Motor-generatör setleri büyük ekipmanlarla sarkma ve kesilmeyi hafifletmek için kullanılan klasik yöntemlerdendir. Bu

setler ofis ortamı için uygun olmadığı açıktır, ama ses ve bakım ihtiyaçları endüstri ortamı için genelde sorun değildir. Bazı üreticiler motor-generatör setlerini bir yedek generatörle birleştirirler. Bazıları daha geniş gezinti zamanı elde etmek için güç elektroniği çeviricileriyle birleştirir.

M-G setinde yük besleme sisteminden tamamen ayrılmıştır. Girişteki sıfır gerilimi 15 saniyeye kadar %100 çıkış elde ederek yüke uygulayabilir [14]. M-G grubunun diyagramı Şekil 3.3.'de gösterilmiştir. Şekil 3.3.'de görüldüğü gibi, indüksiyon motoru 3 fazlı beslemeden beslenir. İndüksiyon motorunun rotoru, generatör ve volan ortak bir mil üzerinde bulunur. Sistemde gerilim sarkması veya tamamen kesilme meydana geldiğinde, üretilen güç indüksiyon motoru tarafından indirgenecektir.

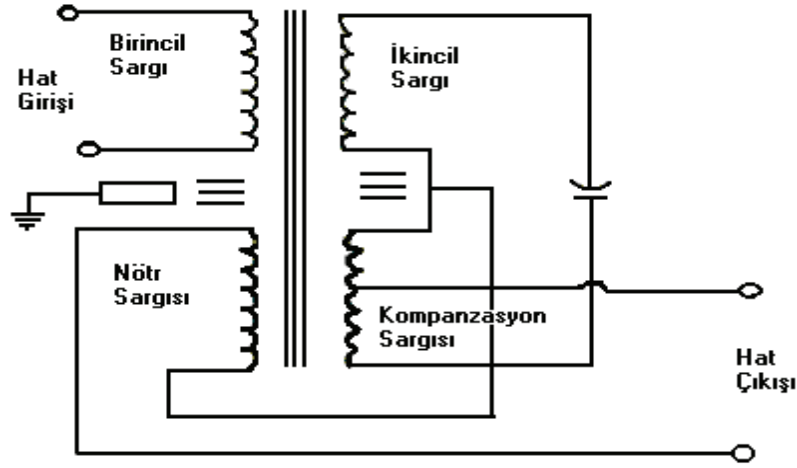


Şekil 3.3. Motor-generatör grubu

Bununla birlikte eylemsizlik veya mekanik enerji depolanmasından dolayı, volan kısa bir zaman dilimi için milin dönüşünü sabit bir hızda tutar. Burada belirlenen gerilim sürekli olarak hattan yüke gitmesini sağlar [15]. Eğer gerilimdeki sarkma veya kesilmenin süresi volanda depolanan enerjinin karşılayamayacağı kadar uzun sürerse volan milin sabit hızla dönmesini sağlayamaz ve motor sendelemeye başlar bununla birlikte gerilim belirlenen değerden aşağı düşer. Bu durumda da generatörün çıkışına düşük gerilim rölesi yerleştirilebilir.

- Sabit gerilim transformatörleri (SGT): SGT'ler gerilim düşümünü düzeltebilecek kapasiteye sahip bir diğer cihazlardır. Manyetik doyma eğrisinde yüksek uyarılmış olsalar bile SGT'ler temel olarak 1:1 oranında

dönüşüm sağlarlar. Bundan dolayı giriş gerilimindeki değişikliklerden çıkış geriliminde önemli bir etkilenme olmaz [15]. Tipik SGT devresi Şekil 3.4.'te gösterilmiştir. SGT'ler ayarlı transformatörlerle tamamen aynı tarzda işlerler, ancak primer sargı tarafında gerilim düşümü meydana getirirler, bir SGT çıkış/sekonder gerilimini sabit düzeyde koruma yeteneğine sahiptirler. Eğer transformatör tam yüklü ise primer geriliminde meydana gelecek %30'lara kadar düşmede bile çıkış gerilimini düşmeye karşı koruyabilir. Sadece 1/4 oranında yüklü iken primerdeki %70'e varan düşmeye karşı sekonder gerilimini koruyabilir [16].



Şekil 3.4. Sabit gerilim transformatörü

3.5. Ekipman Gerilim Toleransını Arttırmak

Gerilim sarkmaları boyunca ekipman hatalarına karşı çözüm yollarından biri ekipman gerilim toleransını arttırmaktır. Ama bu kısa süreli bir çözümdür, uzun süre için uygun değildir. Bir çok durumda kullanıcı ekipman performansını onu kurduktan sonra öğrenir. Hatta çoğu ayarlanabilir hız sürücüler kapalı raf ekipmanlar haline geldi ve kullanıcılar nitelikleri hakkında hiç bir bilgileri yok. Sadece geniş endüstriyel ekipmanlar gerçek bir uygulama için ölçülüdür, bu şartnameye gerilim tolerans ihtiyaçlarını katmayı mümkün kılar. Röle, kontaktör, sensör gibi ekipmanlar sürecin gerilim toleransını açık bir şekilde artırır.

BÖLÜM 4. TRANSFORMATÖR BAĞLANTI ŞEKİLLERİ VE ETKİLERİ

Kullanıcılar tarafından görülen kısa süreli gerilim sarkmaları sadece arıza tipi ve yerine değil aynı zamanda transformatör bağlantı şekline de bağlıdır. Gerilim büyüklüğündeki azalma ve faz-açı değişimleri, yük ile sistem arasındaki transformatör bağlantı şeklinin bir fonksiyonudur.

4.1. Transformatör Bağlantı Şekilleri

Transformatörlerin bir çok bağlantı şekli vardır. Bir gerilim seviyesinden başka bir gerilim seviyesine kısa süreli gerilim sarkması transfer edilirken açıklaması kolay olması için bağlantı şekilleri üç gruba ayrılır [4].

Tip 1: Gerilimde hiçbir değişime neden olmayan transformatörler. Bu transformatörlerde sekonder tarafın gerilimi (pu olarak) primer tarafın gerilimine (pu olarak) eşittir. Sadece yıldız noktaları topraklanmış yıldız-yıldız (Yg-Yg) bağlı transformatör için geçerlidir. Dönüştürme matrisi (4.1)'de verilmiştir.

$$T_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

(4.1)

Tip 2: Gerilimin sıfır bileşenini yok eden transformatörlerdir. Transformatörün ikincil gerilimi, birincil geriliminden sıfır dizi geriliminin çıkartılmasıyla elde edilen değere eşittir. Birincil veya ikincil taraftan biri ya da her ikisi topraklanmamış yıldız-yıldız bağlı (Y-Yg, Yg-Y, Yg-Yg) transformatörler ve üçgen-üçgen bağlı (D1-D1)

transformatörler bu tip transformatörlerdendir. Dönüştürme matrisi (4.2)'de verilmiştir.

$$T_2 = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

Tip 3: Hat ve faz gerilimlerini değiştiren transformatörlerdir. Bu tip transformatörler için; sekonder tarafın gerilimi, birinci taraf gerilimler arasındaki farka eşittir. Yıldız-üçgen (Y-D1), üçgen-yıldız (D1-Y) ve yıldız-zigzag (Y-Z) bağlı transformatörler bu tipe örnektir. Dönüştürme matrisi (4.3)'de verilmiştir.

$$T_3 = \frac{j}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

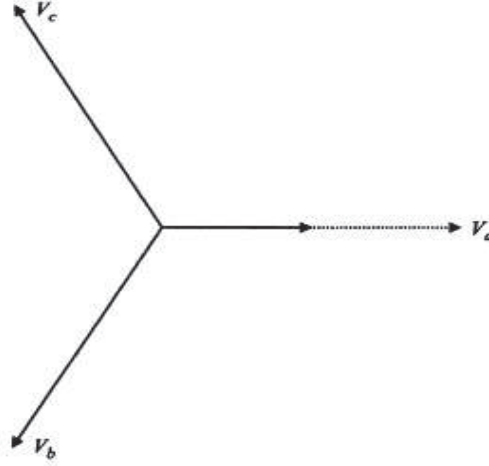
4.2. Kısa Süreli Gerilim Sarkmalarının Transformatörlerden Yayılması

Tek faz ve faz-faz arası arızalar bu üç tip transformatör bağlantı şekliyle uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar;

Tek faz arıza, yıldız bağlı yük, transformatörün olmadığı durum. Bu durumda elde edilen değerler (4.4) denkleminde verilmiştir;

$$\begin{aligned} V_a &= V \\ V_b &= -\frac{1}{2} - \frac{1}{2}j\sqrt{3} \\ V_c &= -\frac{1}{2} + \frac{1}{2}j\sqrt{3} \end{aligned} \quad (4.4)$$

Bu kısa süreli gerilim sarkmasını X1 şeklinde isimlendiririz. Tip 1 transformatörde aynı sonucu verir. Şekil 4.1.'de gösterilmiştir.

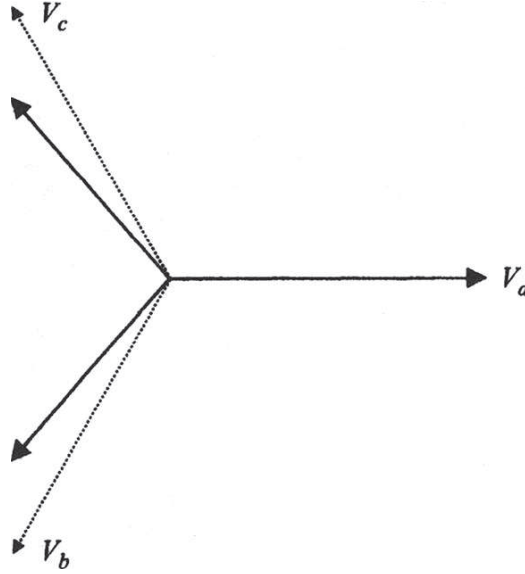


Şekil 4.1. Faz-nötr gerilimleri, tek-faz toprak arızası

Tek faz arıza, üçgen bağlı yük, transformatörün olmadığı durum. Bu durumda elde edilen değerler (4.5) denkleminde verilmiştir;

$$\begin{aligned}
 V_a &= 1 \\
 V_b &= -\frac{1}{2} - \left(\frac{1}{6} + \frac{1}{3}V \right) j\sqrt{3} \\
 V_c &= -\frac{1}{2} + \left(\frac{1}{6} + \frac{1}{3}V \right) j\sqrt{3}
 \end{aligned} \tag{4.5}$$

Bu kısa süreli gerilim sarkmasını X2 şeklinde isimlendiririz. Şekil 4.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Faz-Faz gerilimleri, tek-faz toprak arızası

Tek faz arıza, yıldız bağlı yük, transformatör tip 2 durumu. Transformatör tip 2 gerilimin sıfır bileşenlerini yok eder. Tek faz arıza boyunca faz geriliminin sıfır bileşenleri (4.4) eşitliğinin $\frac{1}{3}(V-1)$ e eşit olmasıyla bulunur. Bu eşitlikten (4.3)'de verilen gerilimler elde edilir.

$$\begin{aligned}
 V_a &= \frac{1}{3} + \frac{2}{3}V \\
 V_b &= -\frac{1}{6} - \frac{1}{3}V - \frac{1}{2}j\sqrt{3} \\
 V_c &= -\frac{1}{6} - \frac{1}{3}V + \frac{1}{2}j\sqrt{3}
 \end{aligned} \tag{4.6}$$

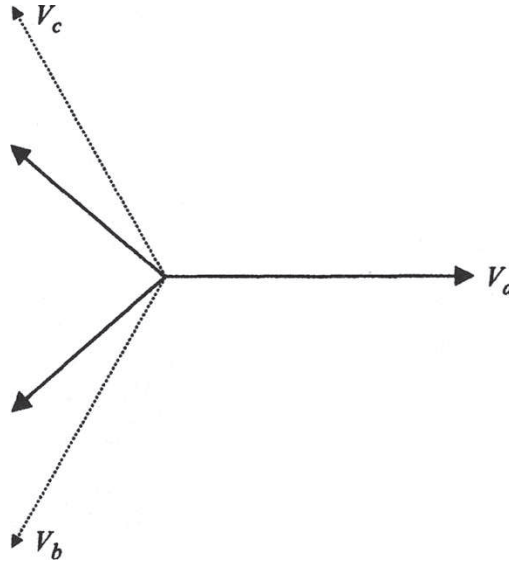
Bu kısa süreli gerilim sarkmasını X3 şeklinde isimlendiririz.

Tek faz arıza, üçgen bağlı yük, transformatör tip 2 durumu. Üçgen bağlı yük tarafından meydana gelen faz-faz gerilimleri hiç sıfır bileşeni içermez. Bu transformatör tip 2 kısa süreli gerilim sarkmalarına hiçbir etkisi yoktur. Bu sarkma hala tip X2 gibidir. Tek faz arıza, yıldız bağlı yük, transformatör tip 3 durumu.

Transformatör tip 3 faz gerilimlerini hat gerilimlerine çevirir. Sekonder tarafta ki yıldız bağlı yük primer tarafta ki üçgen bağlı yükle aynı şekilde sarkmadan etkilenir.

Bu durumda sarkma X2'dir. Tek faz arıza, üçgen bağlı yük, transformatör tip 3 durumu. Şimdi burada iki iletim var: yıldız bağlı yükten üçgen bağlı yüke ve transformatörün primer tarafından sekonder tarafına. Bu iletimin ikisinde (4.3)'de verilen T_3 matrisiyle açıklanabilir. Kaskad olan bu iletimin ikisi de T_2 matrisiyle aynı etkiye sahiptir. Üçgen bağlı yük tarafından etkilenen sarkma ile transformatör tip 2'nin ötesinde olan yıldız bağlı yükle aynı şekilde etkilenir, buda sarkma tip X3'tür. Faz-faz arası arıza, yıldız bağlı yük, transformatörün olmadığı durum. Bu durumda (4.7)'de verilen gerilimler elde edilir. Buda arıza tipi X4 tür.

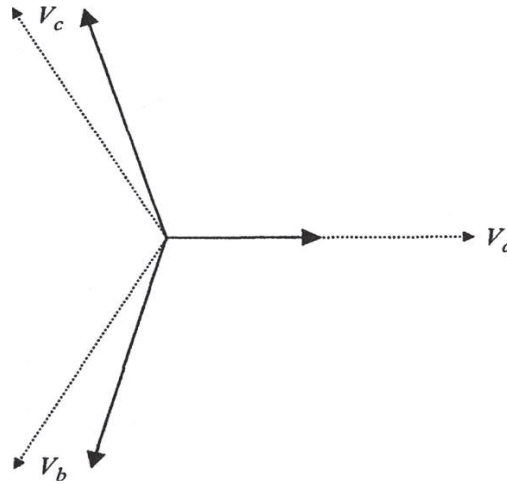
$$\begin{aligned}
 V_a &= 1 \\
 V_b &= -\frac{1}{2} - \frac{1}{2}Vj\sqrt{3} \\
 V_c &= -\frac{1}{2} + \frac{1}{2}Vj\sqrt{3}
 \end{aligned}
 \tag{4.7}$$



Şekil 4.3. Faz-nötr gerilimleri, faz-faz arıza süresince

Faz-faz arası arıza, üçgen bağlı yük, transformatörün olmadığı durum. Bu durumda (4.8)'de verilen gerilimler elde edilir. Buda arıza tipi X4'tür.

$$\begin{aligned}
V_a &= V \\
V_b &= -\frac{1}{2} - \frac{1}{2}j\sqrt{3} \\
V_c &= -\frac{1}{2} + \frac{1}{2}j\sqrt{3}
\end{aligned}
\tag{4.8}$$



Şekil 4.4. Faz-faz gerilimleri, faz-faz arıza süresince

Faz-faz arıza, yıldız bağlı yük, transformatör tip 2 durumu. Faz-faz arıza sonucunda sıfır bileşen gerilimlerinde hiçbir değişim meydana gelmez, transformatör tip 2 hiçbir etkiye sahip değildir ve sarkma tipi X4 olarak kalır. Faz-faz arıza, üçgen bağlı yük, transformatör tip 2 durumu. Önceki gibi, sarkma tipi hala X5'dir.

Faz-faz arıza, yıldız bağlı yük, transformatör tip 3 durumu. Sekonderinde yıldız bağlı yük, primerinde üçgen bağlı yük olan transformatör tip 2 aynı şekilde sarkmadan etkilenir. Bunun sonucu sarkma tipi X5'dir.

Faz-faz arıza, üçgen bağlı yük, transformatör tip 3 durumu. Bu yine kaskad durumda iletim matrisi T_3 'ü verir. Biri T_2 iletim matrisiyle sonuçlanır. Ama bu sadece sıfır bileşenleri yok eder ve faz-faz arıza boyunca bunun sarkma üzerine hiç bir etkisi yoktur, sonuçlar yine X4 tipi arızadır.

Sarkmalar üzerinde X1'den X5'e kadar ikinci bir transformatörün etkileri Tablo 4.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Kısa süreli gerilim sarkmasının ileriye yayılması

Sarkma Tipi	Transformatör Tipi		
	1	2	3
X1	X1	X3	X2
X2	X2	X2	X3
X3	X3	X3	X2
X4	X4	X4	X5
X5	X5	X5	X4

Bu kategorilerle beraber transformatörler farklı bağlantı şekilleriyle primer ve sekonder taraf gerilimler arasında farklılıklar oluşmasına neden olacaktır. Bu farklılıklar ekipmanların maruz kaldığı sarkmalar için bir farklılığa neden olmayacaktır. Buradaki bütün olay arıza öncesi ve arıza esnasındaki gerilimler arasındaki gerilim büyüklüğü ve faz-açı değişimleridir.

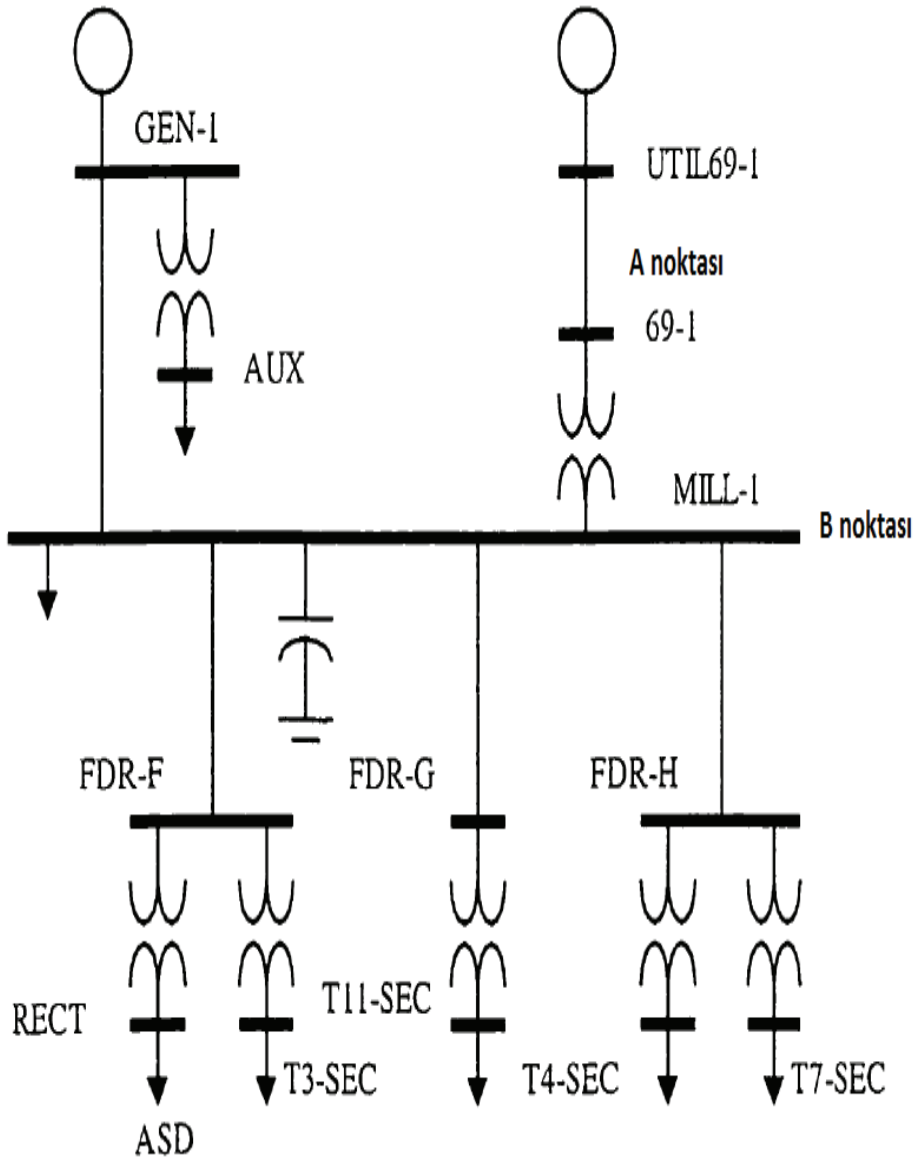
Güç sisteminde simetrik ve simetrik olmayan arızalardan kaynaklanan gerilim sarkmalarının yayılması transformatörün tipine bağlıdır. Transformatörün primer ve sekonder tarafında ki farklı arızalar için sarkma eşitlikleri türetilmiştir. Arıza noktasındaki faz gerilimleri ve transformatörlerin değişik tipleri verilmiştir. Bu eşitliklerden anlaşılacağı üzere, gerilim faz açıları sarkma transformatör üzerinden yayıldığı zaman değişmektedir. Ekipman uçlarındaki sarkmanın büyüklüğü ve faz açısı, arızanın yerine, tipine ve aynı zamanda transformatör bağlantı şekline bağlıdır [17].

BÖLÜM 5. UYGULAMA SİSTEMİ

Kullanılan örnek sistem, IEEE(Elektrik Elektronik Mühendisleri Enstitüsü)'nin harmonik modellemesi ve simülasyonu için test sistemlerinden biri olan, 13 baralı dengeli endüstriyel dağıtım sistemidir. Sistem IEEE Color Book serisinde hesaplama ve örnekler için çokça kullanılan yaygın bir sistemden elde edilmiştir. 13 bara içerir ve orta büyüklükteki endüstriyel bir alanı ifade eder. Test sisteminin tek hat şeması Şekil 4.1.'de gösterilmiştir. Sistem 69 kV lık gerilim kaynağından beslenmekte ve 13.8 kV'ta işletilmektedir.Örnek sistem dengeli bir sistem olduğundan sadece pozitif dizi bileşen değerleri kullanılmıştır. Kısa iletim hattı ve bütün kabloların kapasite değerleri ihmal edilmiştir. Sistem parametreleri [18,19] kaynaklarından elde edilmiştir. Bu çalışmada sadece güç sistemlerinde meydana gelen arızalardan kaynaklanan kısa süreli gerilim sarkmaları incelenmiştir.

Uygulama sisteminde; GEN-1, AUX, UTIL69-1, 69-1, MILL-1, FDR-F, FDR-G, FDR-H, RECT, T3-SEC, T11-SEC, T4-SEC, T7-SEC ifadeleri sistemdeki bara isimleridir.

GEN-1 ve AUX baraları arasında TRF-1 transformatörü, 69-1 ve MILL-1 baraları arasında TRF-2 transformatörü, FDR-F ve RECT baraları arasında TRF-3 transformatörü, FDR-F ve T3-SEC baraları arasında TRF-4, FDR-G ve T11-SEC baraları arasında TRF-5 transformatörü, FDR-H ve T4-SEC baraları arasında TRF-6 transformatörü, FDR-H ve T7-SEC baraları arasında TRF-7 transformatörü bulunmaktadır.



Şekil 5.1. 13-baralı dengeli endüstriyel dağıtım sistemi [18]

5.1. MATLAB/SIMULINK Programı

MATLAB teknik bir programlama dilidir. MATLAB programının arka planında çok ciddi bir akademik çalışma bulunmaktadır. MATLAB; kontrol, görüntü işleme, istatistik, optimizasyon, bulanık mantık, sinir ağları, sayısal işaret işleme, güç sistemleri, filtre dizaynı, genetik algoritma, grafik, veritabanı, uzay, ölçme, finans vb. bir çok alanda güvenli bir şekilde kullanılabilir, araç kutuları (toolbox) içerir.

MATLAB içinde çok önemli ve görsel bir yazılım ortamı olan SIMULINK araç kutusu da bulunmaktadır. SIMULINK, dinamik sistemleri modellemeye ve simülasyonunu (benzetimini) gerçekleştirmeye yarayan bir yazılım ortamıdır [20].

5.2. Sistemde Bulunan Elemanların Değerleri ve SIMULINK Modelleri

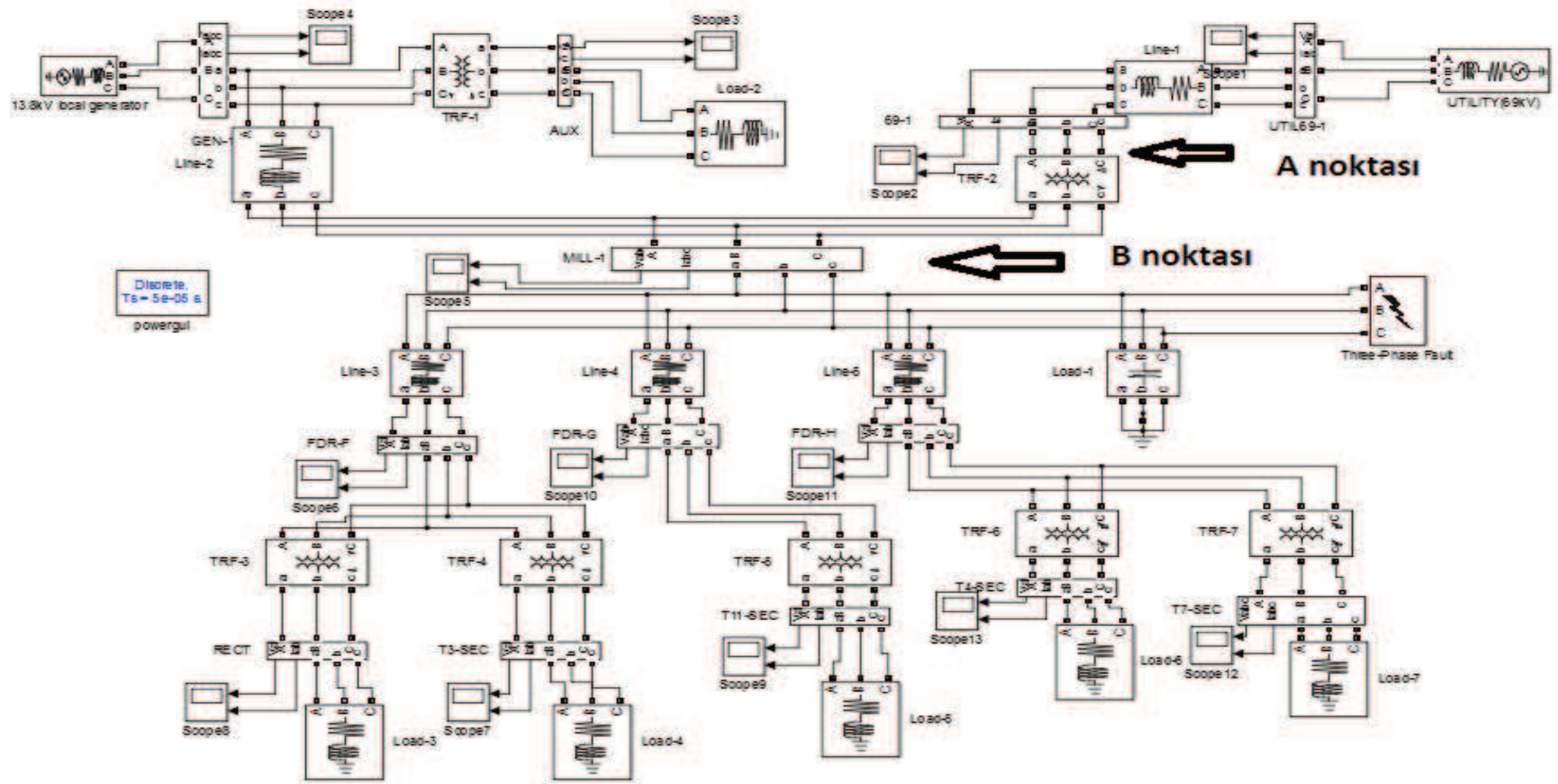
Uygulama sisteminde bulunan transformatörlerin bağlantı şekilleri, primer/sekonder gerilimleri ve güç değerleri Tablo 5.1. verilmiştir [21].

Tablo 5.1. Transformatör değerleri

No	From	To	Bağlantı şekli	Tap	V1 (kV)	V2 (kV)	S (kVA)
TRF-1	GEN1	AUX	Y/D	13.45	13.8	0.48	1500
TRF-2	UTIL69-1	MILL-1	D/Y	69	69	13.8	15000
TRF-3	FDR-F	RECT	Y/D	13.45	13.8	0.48	1250
TRF-4	FDR-F	T3-SEC	Y/D	13.11	13.8	4.16	1725
TRF-5	FDR-G	T11-SEC	Y/D	13.45	13.8	0.48	1500
TRF-6	FDR-H	T4-SEC	Y/D	13.8	13.8	0.48	1500
TRF-7	FDR-H	T7-SEC	Y/D	13.11	13.8	2.4	3750

Kullanılan bu örnek sistemin MATLAB/SIMULINK modeli oluşturulmuş ve bu model Şekil 5.2.'de gösterilmiştir.

Tablo 5.1.'deki değerler transformatörlerin SIMULINK modellemesinde kullanılmıştır. Transformatörlerin SIMULINK modelleri Şekil 5.(3-9).da gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Uygulama sisteminin MATLAB/SIMULINK modeli

Block Parameters: TRF-1

Three-Phase Transformer (Two Windings) (mask) (link)

This block implements a three-phase transformer by using three single-phase transformers. Set the winding connection to 'Yn' when you want to access the neutral point of the Wye.

Click the Apply or the OK button after a change to the Units popup to confirm the conversion of parameters.

Configuration Parameters Advanced

Units pu

Nominal power and frequency [Pn(VA) , fn(Hz)]
[1.5e6 , 50]

Winding 1 parameters [V1 Ph-Ph(Vrms) , R1(pu) , L1(pu)]
[13.8e3 , 0.002 , 0.08]

Winding 2 parameters [V2 Ph-Ph(Vrms) , R2(pu) , L2(pu)]
[0.48e3 , 0.002 , 0.08]

Magnetization resistance Rm (pu)
500

Magnetization inductance Lm (pu)
500

Saturation characteristic [i1 , phi1 ; i2 , phi2 ; ...] (pu)
[0,0 ; 0.0024,1.2 ; 1.0,1.52]

Initial fluxes [phi0A , phi0B , phi0C] (pu):
[0.8 , -0.8 , 0.7]

OK Cancel Help Apply

Şekil 5.3. TRF-1 transformatörü

Block Parameters: TRF-2

Three-Phase Transformer (Two Windings) (mask) (link)

This block implements a three-phase transformer by using three single-phase transformers. Set the winding connection to 'Yn' when you want to access the neutral point of the Wye.

Click the Apply or the OK button after a change to the Units popup to confirm the conversion of parameters.

Configuration Parameters Advanced

Units pu

Nominal power and frequency [Pn(VA) , fn(Hz)]
[15e6 , 50]

Winding 1 parameters [V1 Ph-Ph(Vrms) , R1(pu) , L1(pu)]
[69000 0.002 0.079998]

Winding 2 parameters [V2 Ph-Ph(Vrms) , R2(pu) , L2(pu)]
[13800 0.002 0.080002]

Magnetization resistance Rm (pu)
500

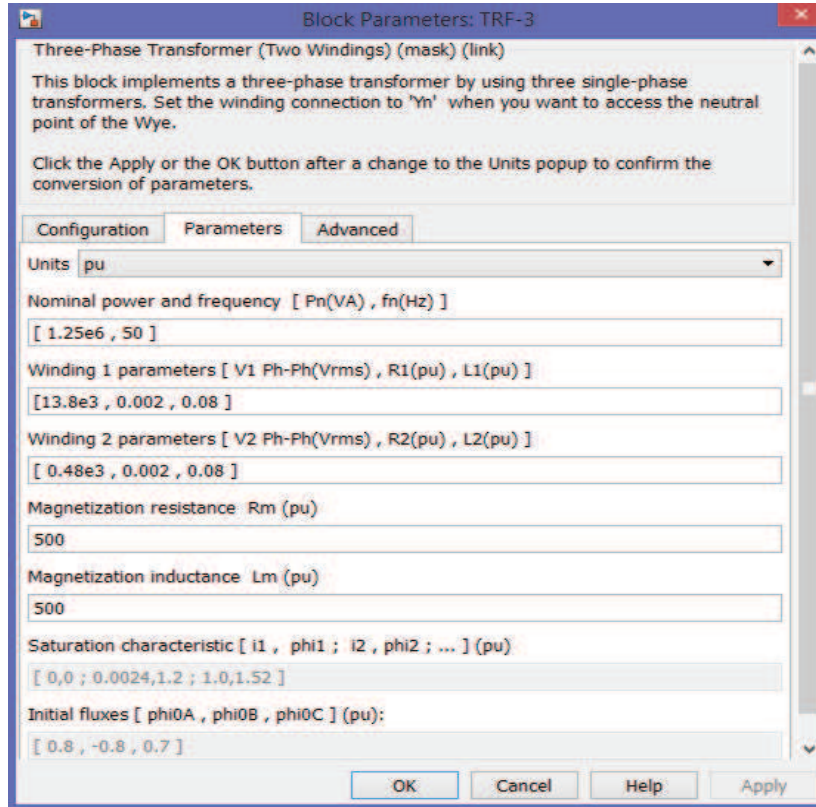
Magnetization inductance Lm (pu)
500.01

Saturation characteristic [i1 , phi1 ; i2 , phi2 ; ...] (pu)
[0 0;0.0024 1.2;1 1.52]

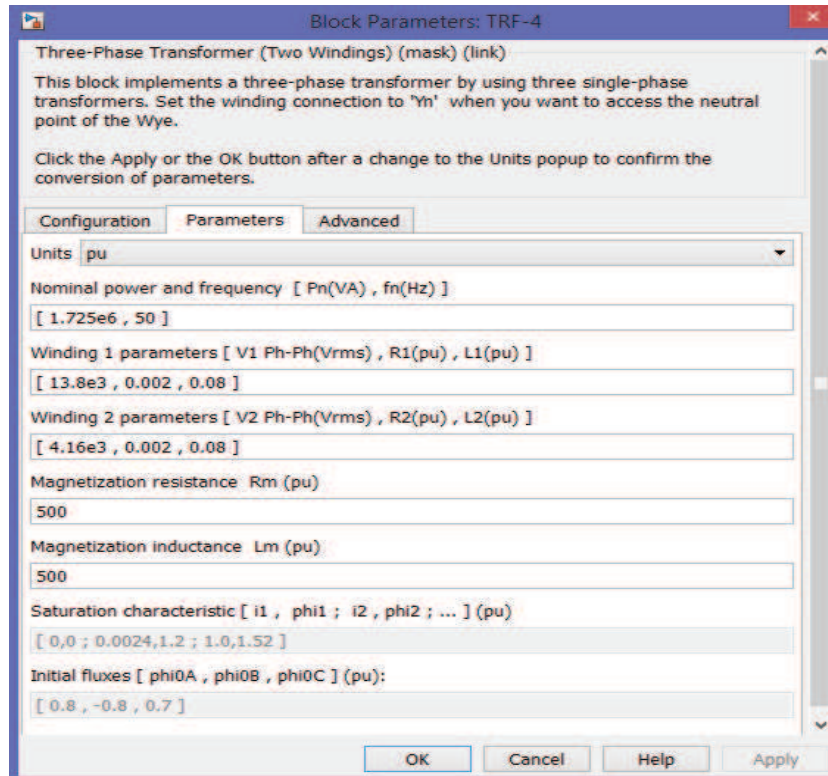
Initial fluxes [phi0A , phi0B , phi0C] (pu):
[0.79998 -0.79998 0.70001]

OK Cancel Help Apply

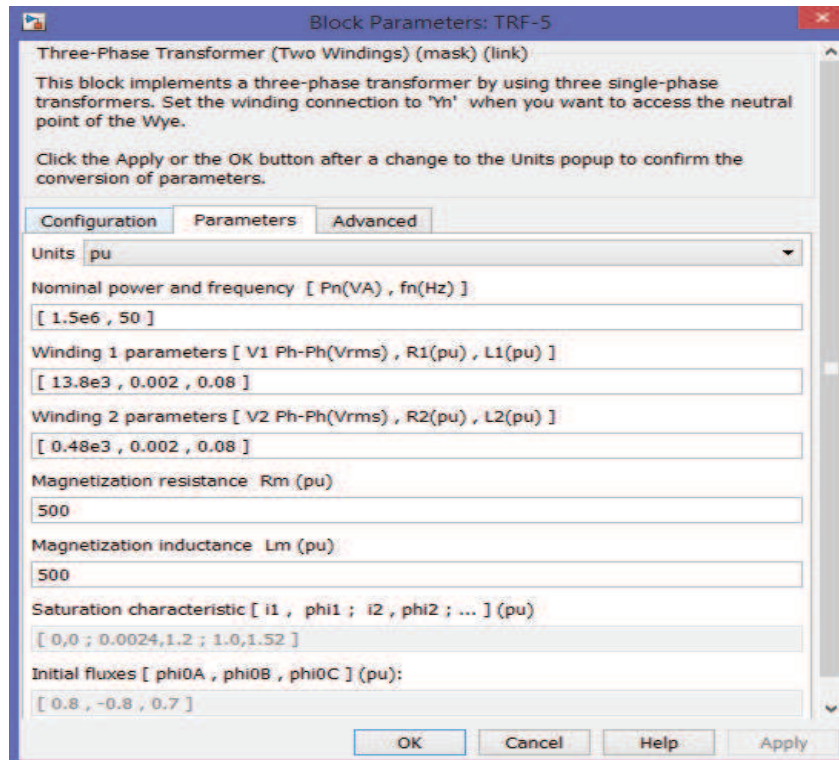
Şekil 5.4. TRF-2 transformatörü



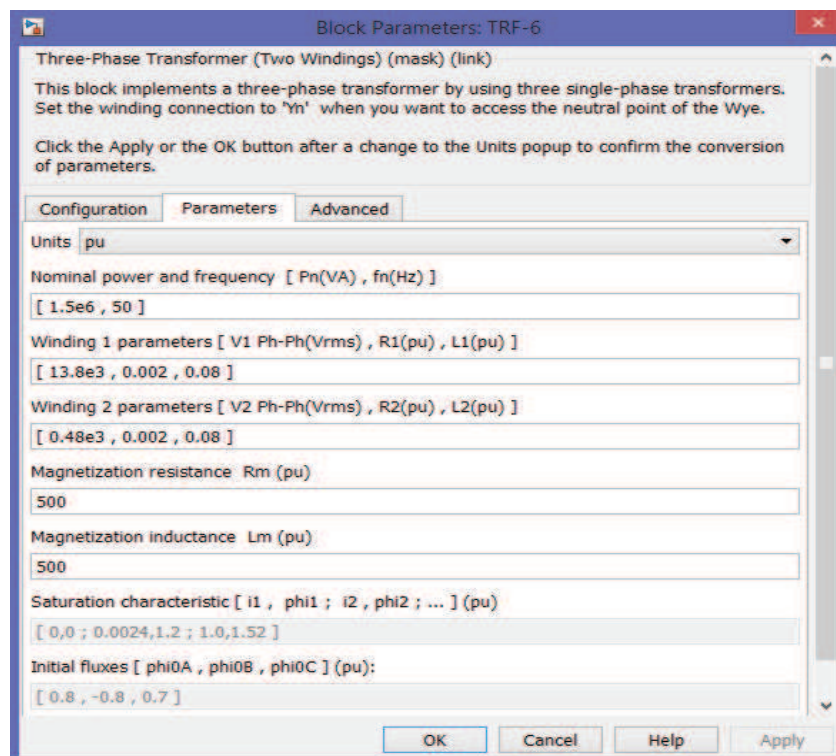
Şekil 5.5. TRF-3 transformatörü



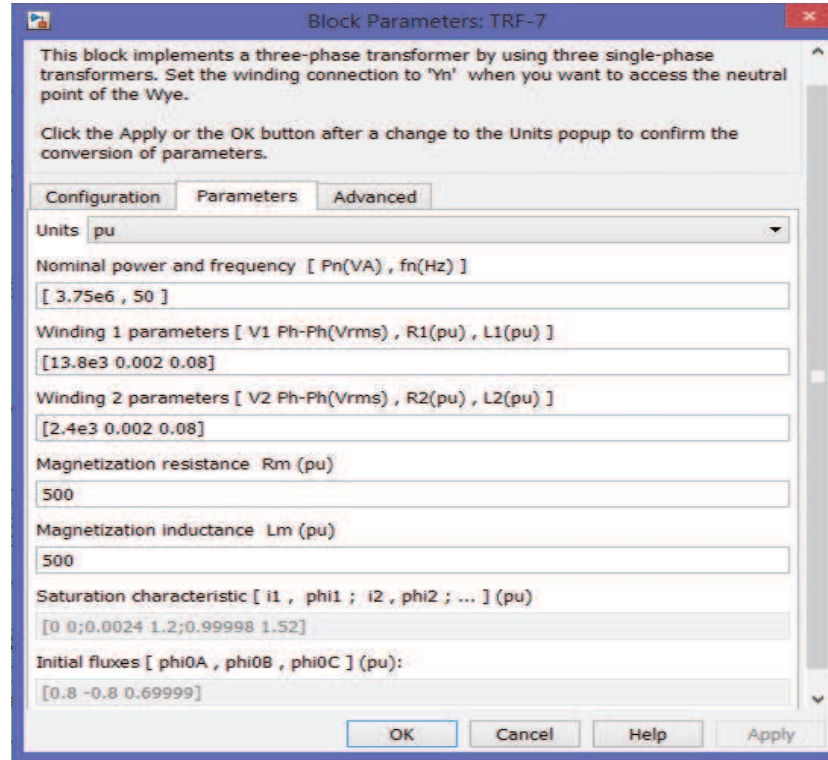
Şekil 5.6. TRF-4 transformatörü



Şekil 5.7. TRF-5 transformatörü



Şekil 5.8. TRF-6 transformatörü



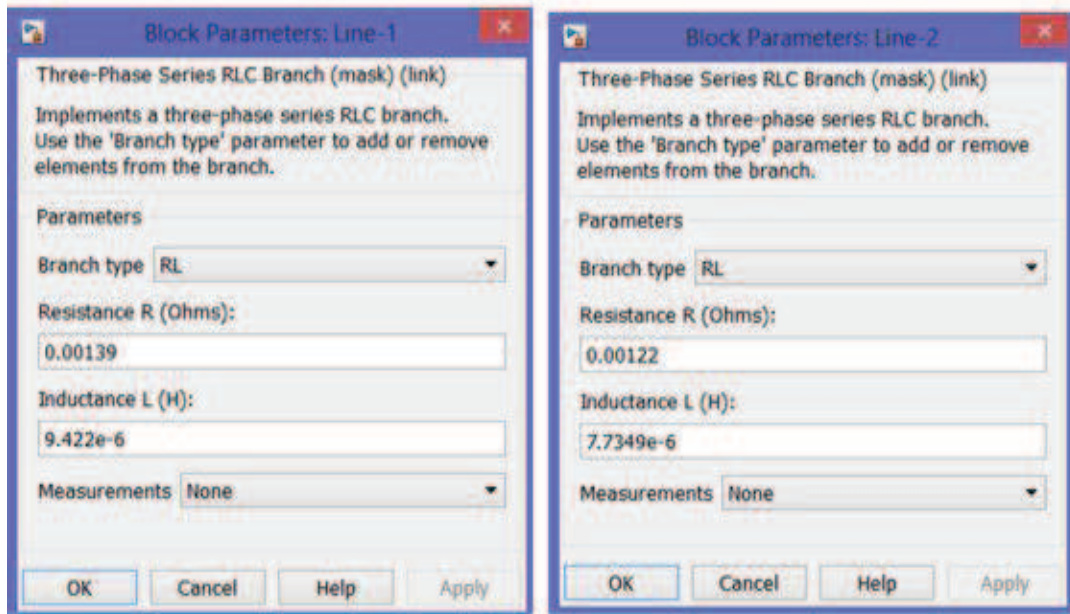
Şekil 5.9. TRF-7 transformatörü

Uygulama sistemi hat parametreleri Tablo 5.2.'de gösterilmiştir.

Tablo 5.2. Hat parametreleri

Number	From	To	VOLTAGE (kV)	MVA	R(pu)	X(Pu)	L (Pu)
1	UTIL69-1	69-1	13.8	10	0.00139	0.002647	0,000009422
2	MILL-1	GEN-1	13.8	10	0.00122	0.023234	0,0000077349
3	MILL-1	FDR-F	13.8	10	0.00075	0.014288	0,0000020054
4	MILL-1	FDR-G	13.8	10	0.00157	0.029899	0,0000041699
5	MILL-1	FDR-H	13.8	10	0.00109	0.020758	0,0000028966

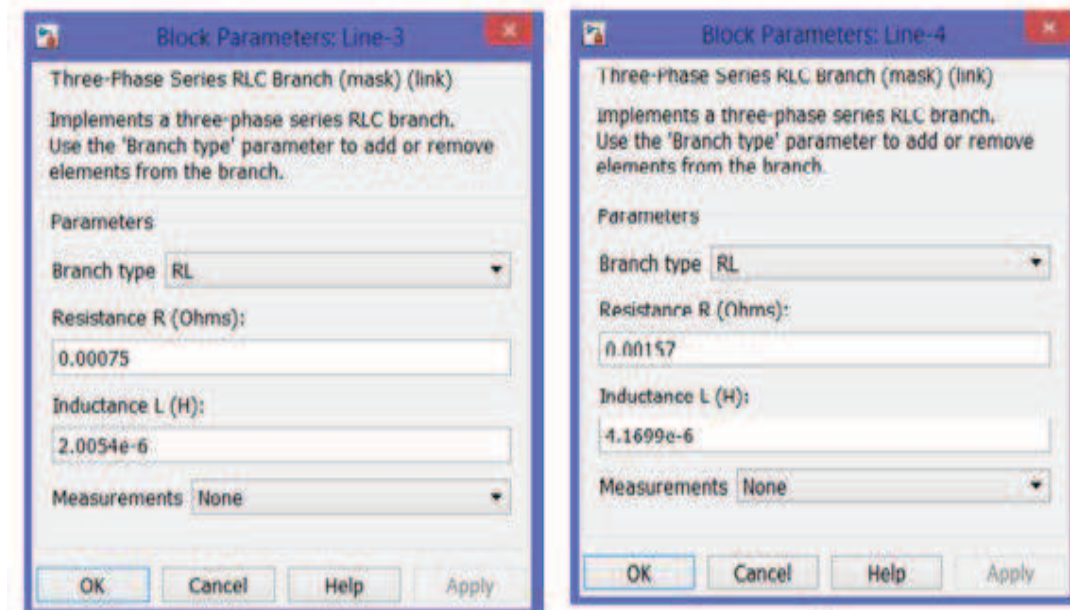
Tablo 5.2.'deki değerler hat parametrelerinin SIMULINK modellemesinde kullanılmıştır. Hatların SIMULINK modelleri Şekil 5.(10-12)'de gösterilmiştir.



a)

b)

Şekil 5.10. a) 1 numaralı hat, b) iki numaralı hat

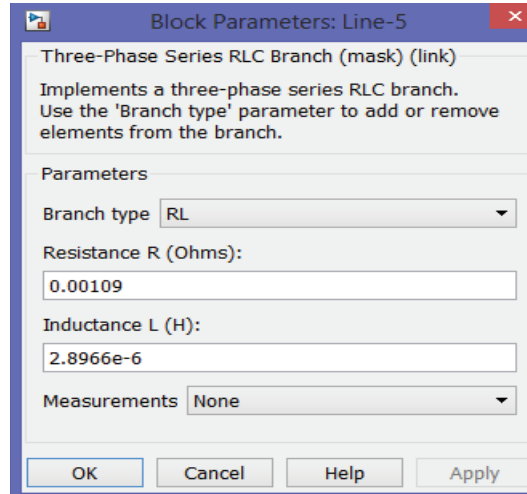


a)

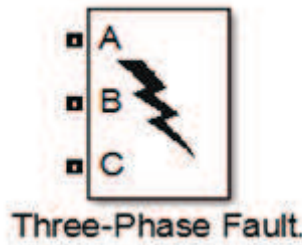
b)

Şekil 5.11. a) 3 numaralı hat, b) 4 numaralı hat

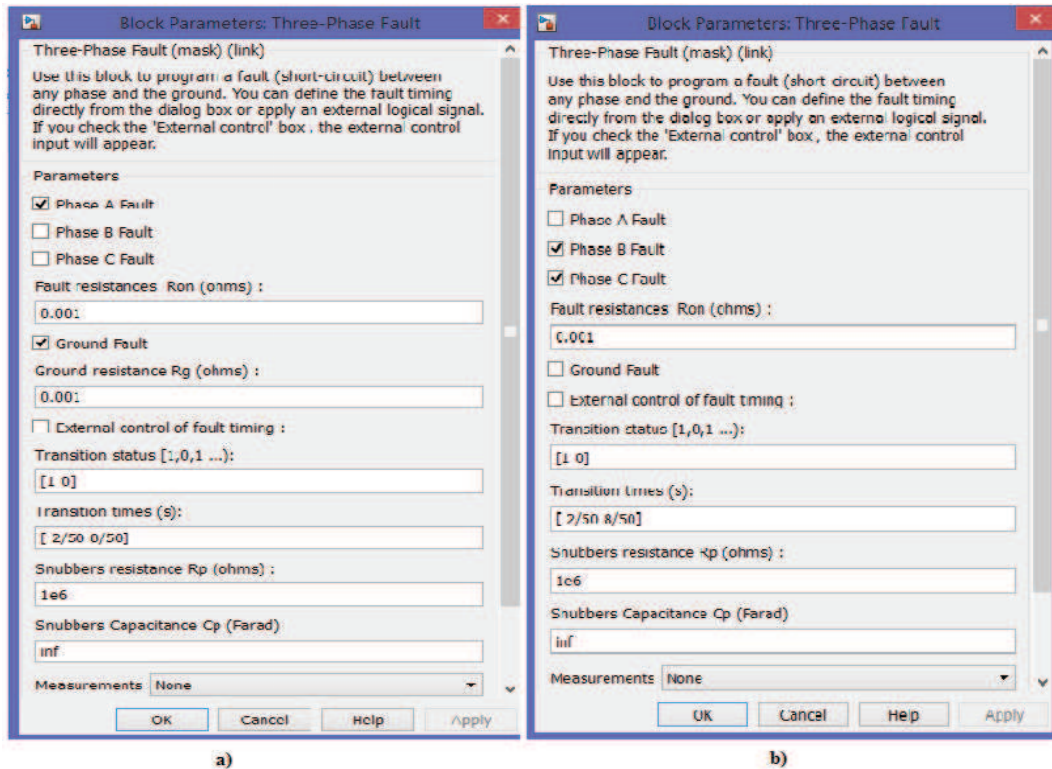
Sisteme uygulanan arızalar; tek faz toprak arızası, faz faz arızası, iki faz toprak arızası ve üç faz toprak arızalarıdır. Arızalar sisteme Şekil 5.13.'de gösterilen Three-Phase Fault bloğuyla uygulanmıştır.



Şekil 5.12. 5 numaralı hat



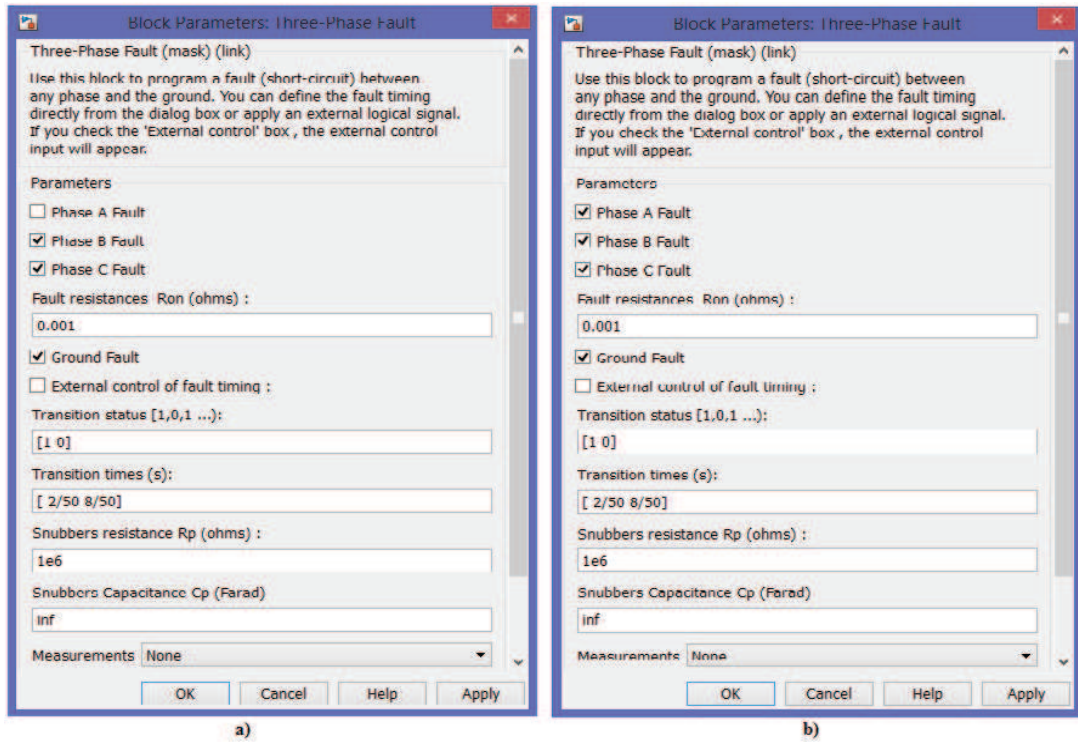
Şekil 5.13. Üç faz arıza SIMULINK bloğu



a)

b)

Şekil 5.14. a) tek faz toprak arızası, b) faz faz arızası



Şekil 5.15. a) iki faz toprak arızası, b) üç faz toprak arızası

5.3. Kısa Devre Arızalarından Kaynaklanan Kısa Süreli Gerilim Sarkmaları

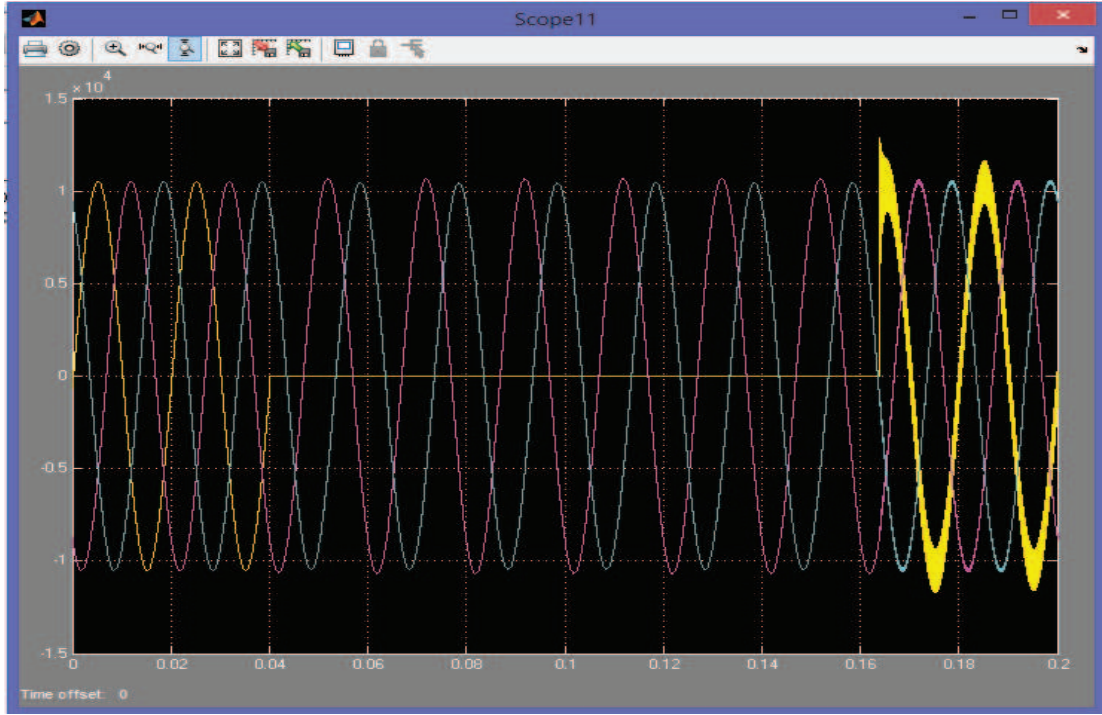
Sistemde bulunan A ve B noktalarına sırasıyla dört farklı arıza uygulanarak transformatörlerin arıza yayılmalarına etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Arıza uygulama yeri olarak B noktasının seçilme nedeni; B noktasının(MILL-1 barası) ortak bara olması ve kısa süreli gerilim sarkmasının bir transformatör boyunca yayılırken gerilim dalga şeklinde meydana gelen değişimleri elde etmektir. A noktasının seçilme nedeni ise; arka arkaya bağlı iki transformatörle kaskad transformatör bağlantı durumunda kısa süreli gerilim sarkmasının yayılımında gerilim dalga şeklinde meydana gelen değişimleri elde etmektir.

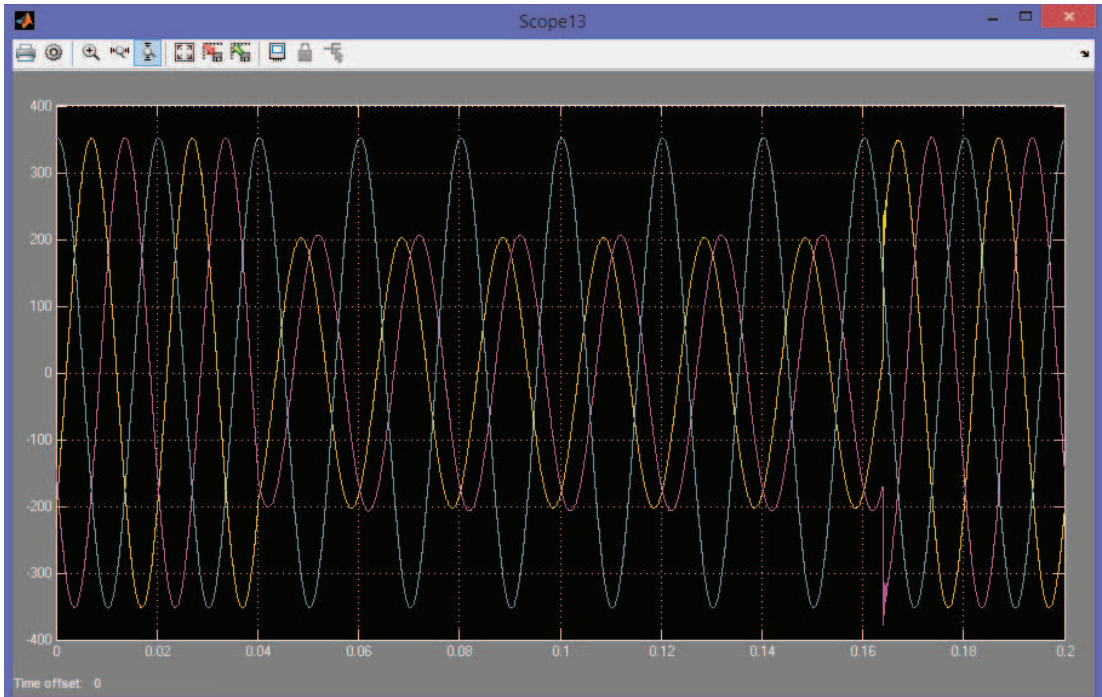
5.3.1. B noktasında tek faz toprak arızası

Dağıtım sisteminde meydana gelen arızaların %85'den fazlası tek faz toprak arızalardan kaynaklanmaktadır [21]. B noktasına yani MILL-1 barasına tek faz

toprak arızası uygulanınca TRF-6 transformatörünün primer tarafında (FDR-H barasında) gözlenen gerilim dalga şekli Şekil 5.16.'da, TRF-6 transformatörünün sekonder tarafındaki gerilim dalga şekli Şekil 5.17.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.16. Tek faz toprak arızasından kaynaklanan kısa süreli gerilim sarkması (TRF-6'nın primer tarafı)



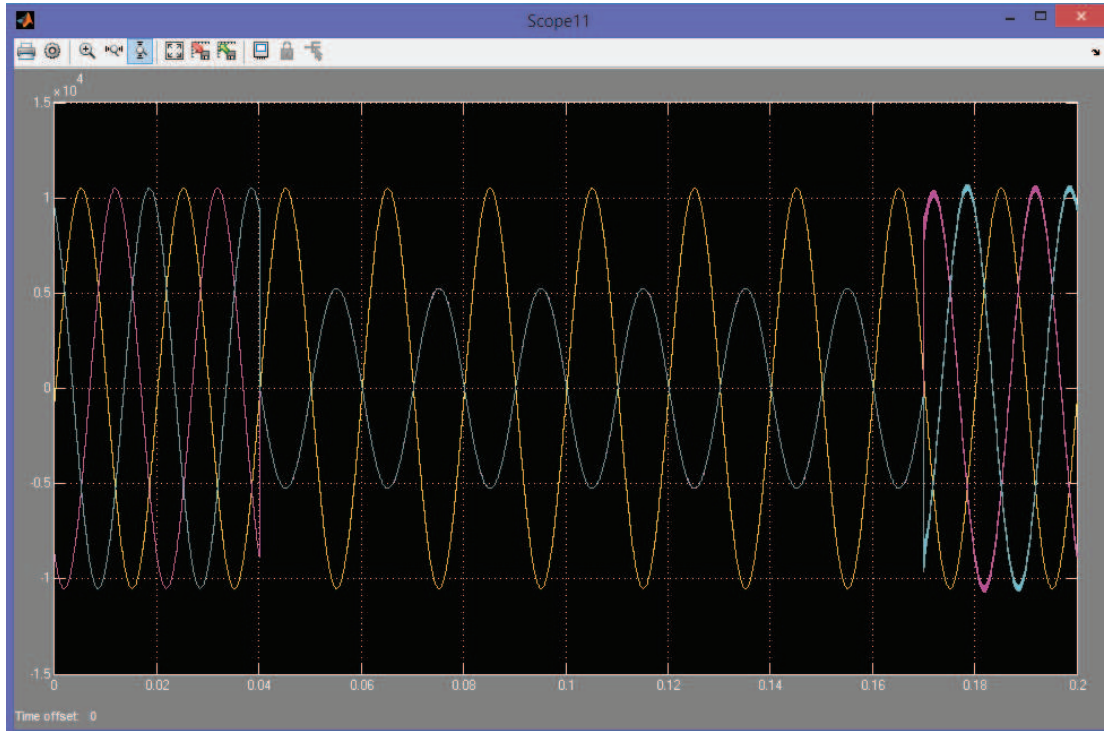
Şekil 5.17. Tek faz toprak arızasından kaynaklanan kısa süreli gerilim sarkması (TRF-6'nın sekonder tarafı)

TRF-6 transformatörünün bağlantı şekli Y-D1 şeklindedir. Şekillerde de görüldüğü gibi transformatör arızayı sekonder tarafa iletirken hafifletmiştir.

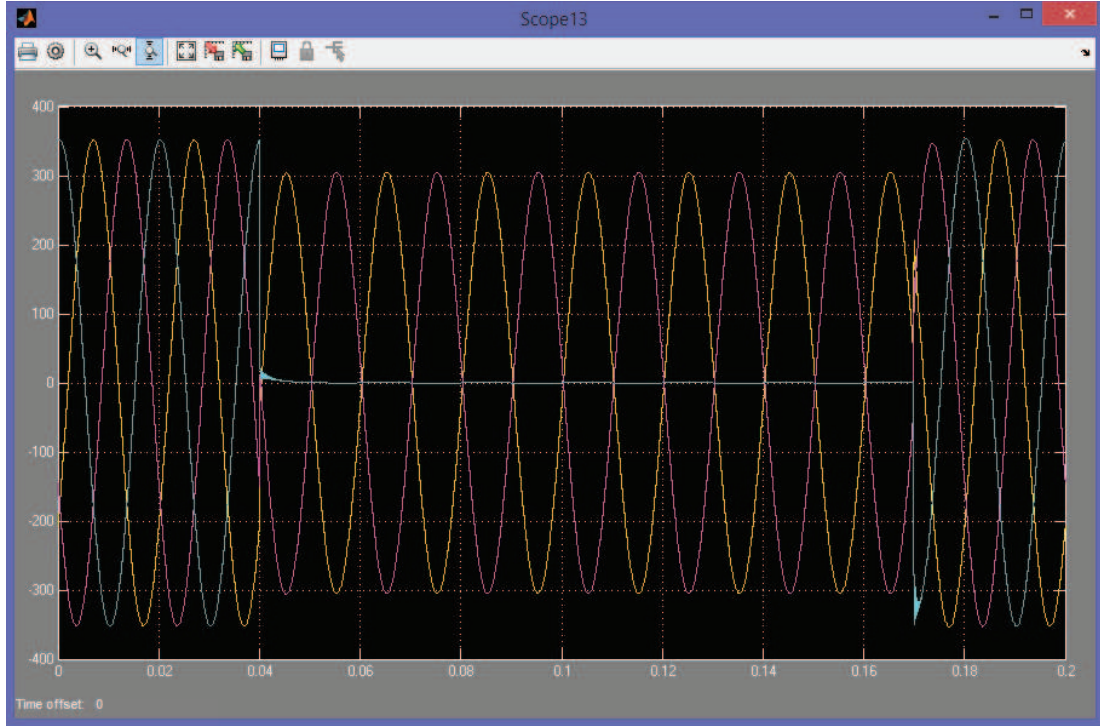
5.3.2. B noktasında faz faz arızası

B noktasına faz faz arızası uygulanınca TRF-6 transformatörünün primer tarafında (FDR-H barasında) gözlenen gerilim dalga şekli Şekil 5.18.'de, TRF-6 transformatörünün sekonder tarafındaki gerilim dalga şekli Şekil 5.19.'da gösterilmiştir. TRF-6 transformatörünün bağlantı şekli Y-D1 şeklindedir.

Uygulanan arıza sonrası TRF-6 transformatörünün primer tarafında hiç bir fazda gerilim sıfır olmaz iken, transformatör arızayı sekonder tarafa iletirken azaltıcı etki gösterememiş ve C fazının gerilimi sıfır olmuştur.



Şekil 5.18. Faz faz arızadan kaynaklanan kısa süreli gerilim sarkması(TRF-6'nın primer tarafı)

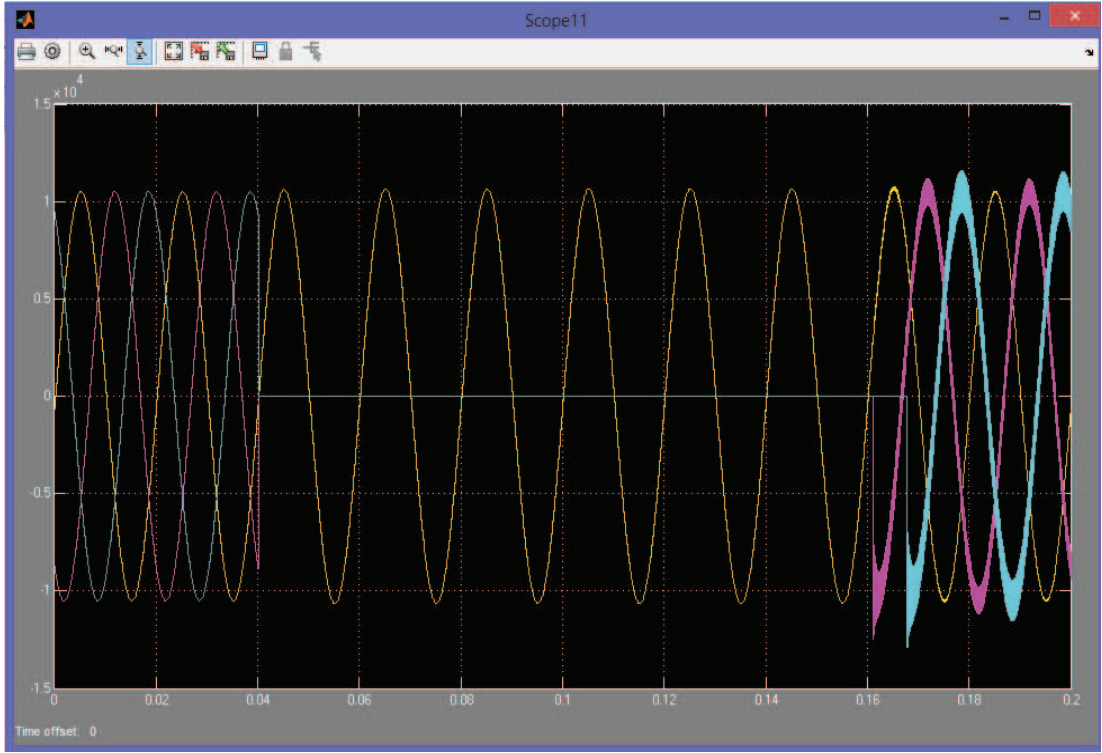


Şekil 5.19. Faz faz arızadan kaynaklanan kısa süreli gerilim sarkması (TRF-6'nın sekonder tarafı)

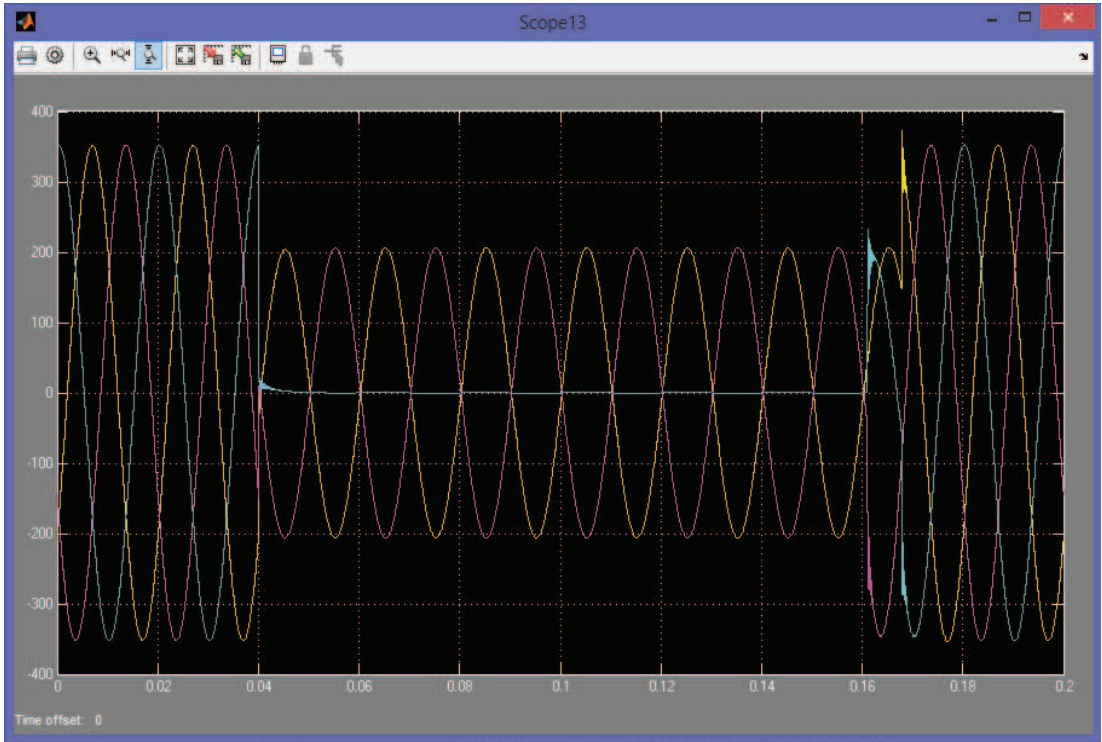
5.3.3. B noktasında iki faz toprak arızası

B noktasına iki faz toprak arızası uygulanınca TRF-6 transformatörünün primer tarafında (FDR-H barasında) gözlenen gerilim dalga şekli Şekil 5.20.'de, TRF-6 transformatörünün sekonder tarafındaki gerilim dalga şekli Şekil 5.21.'de gösterilmiştir. TRF-6 transformatörünün bağlantı şekli Y-D1 şeklindedir.

Uygulanan arıza sonrası TRF-6 transformatörünün primer tarafında arızaların uygulandığı fazlarda gerilim sıfır iken, transformatör arızayı sekonder tarafa iletirken hafifletici etki göstermiş ve B fazının gerilimi sıfır olmamıştır.



Şekil 5.20. İki faz toprak arızasından kaynaklanan kısa süreli gerilim sarkması (TRF-6'nın primer tarafı)

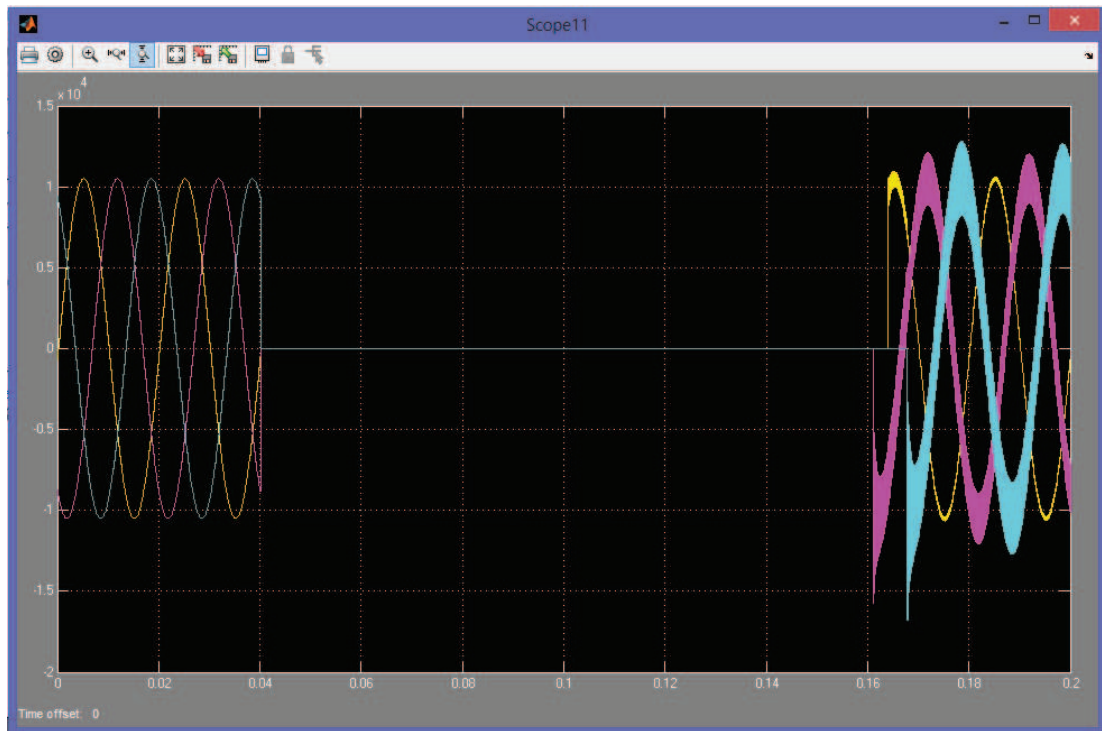


Şekil 5.21. İki faz toprak arızasından kaynaklanan kısa süreli gerilim sarkması (TRF-6'nın sekonder tarafı)

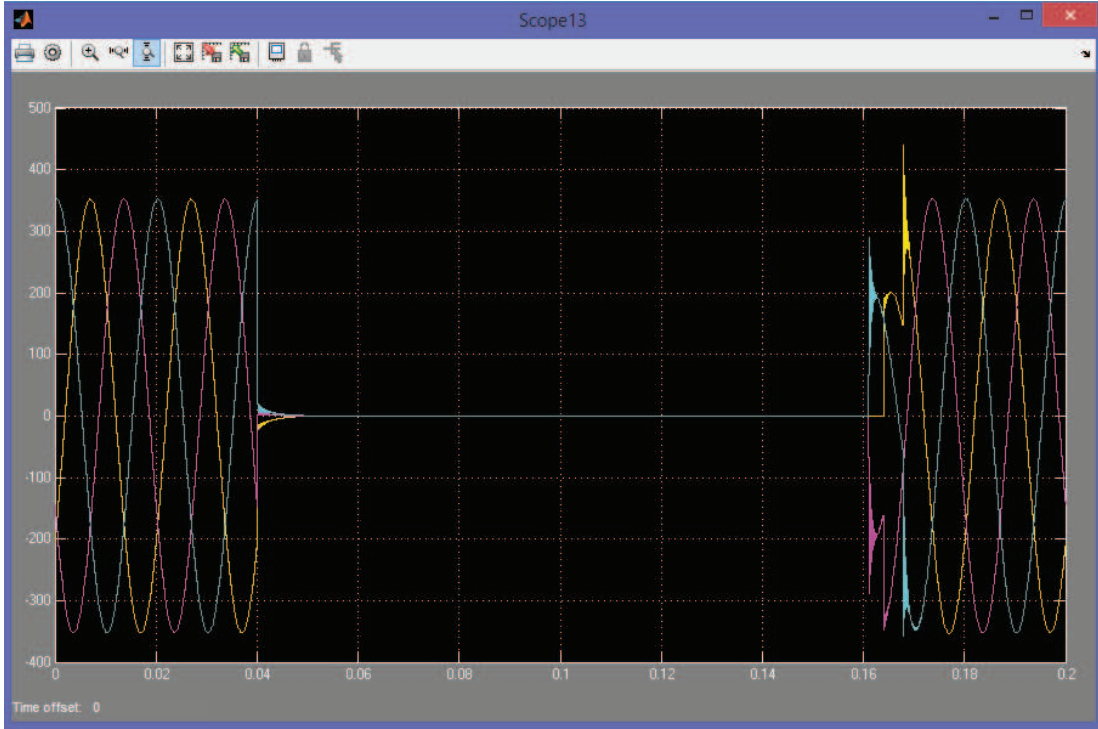
5.3.4. B noktasında üç faz toprak arızası

B noktasına üç faz toprak arızası uygulanınca TRF-6 transformatörünün primer tarafında (FDR-H barasında) gözlenen gerilim dalga şekli Şekil 5.22.'de, TRF-6 transformatörünün sekonder tarafındaki gerilim dalga şekli Şekil 5.23.'de gösterilmiştir. TRF-6 transformatörünün bağlantı şekli Y-D1 şeklindedir.

Uygulanan arıza sonrası TRF-6 transformatörünün primer tarafında fazların tamamı sıfırdır. Transformator arızayı sekonder tarafa iletirken hafifletici etki gösterememiş ve yine tüm fazların gerilim değeri sıfır olmuştur.



Şekil 5.22. Üç faz toprak arızasından kaynaklanan kısa süreli gerilim sarkması (TRF-6'nın primer tarafı)

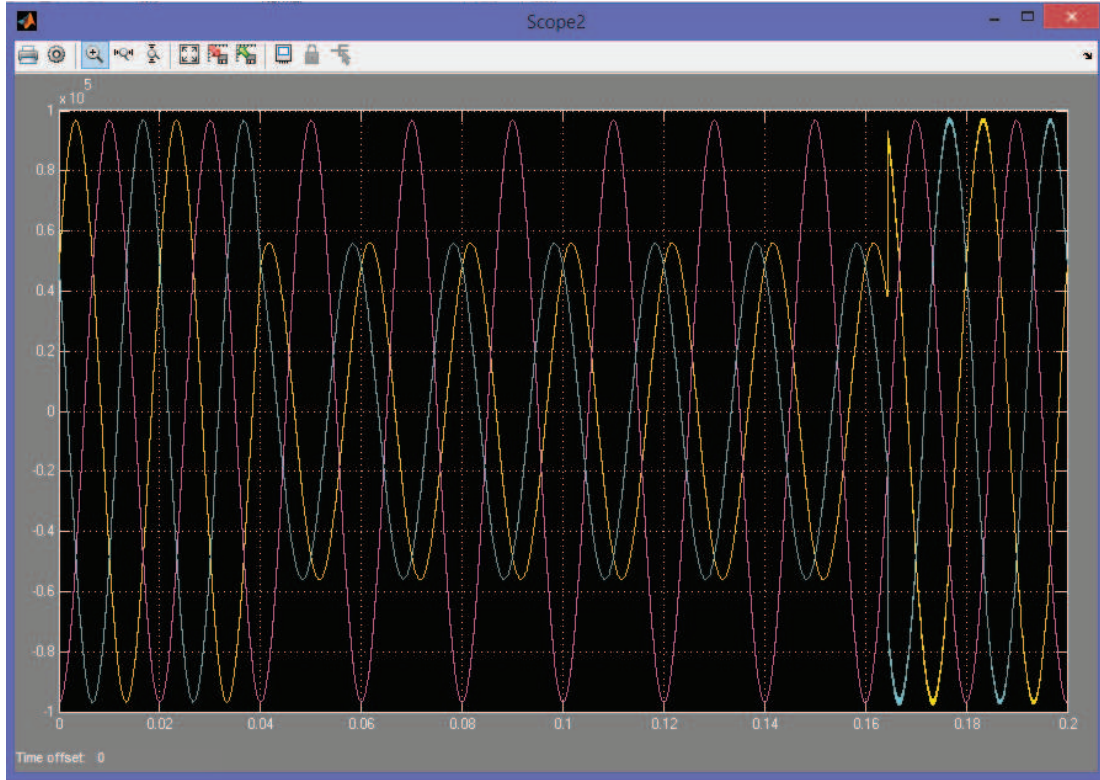


Şekil 5.23. Üç faz toprak arızasından kaynaklanan kısa süreli gerilim sarkması (TRF-6'nın sekonder tarafı)

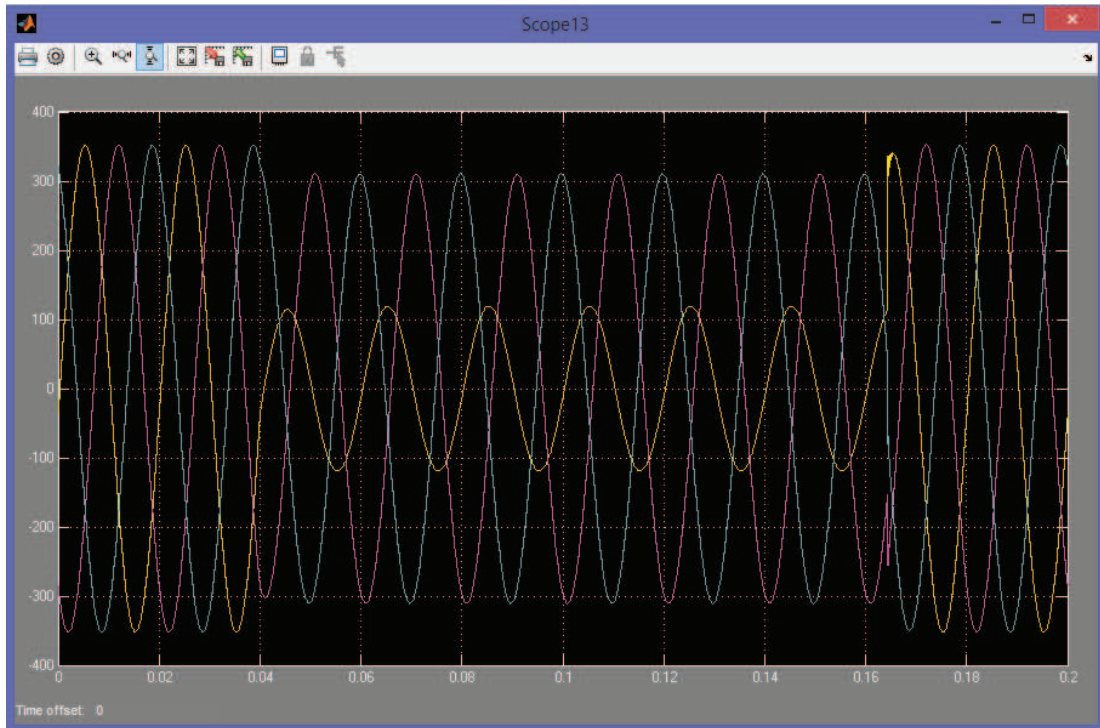
5.3.5. A noktasında tek faz toprak arızası

A noktasına yani UTIL69-1 ve 69-1 baraları arasına tek faz toprak arızası uygulanınca TRF-2 transformatörünün primer tarafında (69-1 barasında) gözlenen gerilim dalga şekli Şekil 5.24.'de, TRF-6 transformatörünün sekonder tarafındaki gerilim dalga şekli Şekil 5.25.'de gösterilmiştir. TRF-2 transformatörünün bağlantı şekli D1-Y, TRF-6 transformatörünün bağlantı şekli Y-D1 şeklindedir.

TRF-2 transformatörünün primer tarafında bulunan besleme kaynağı sistemde arızalara karşı sistemi iyileştirici etki göstermiş ve arızanın etkilerini azaltmıştır. Bu nedenle TRF-2 transformatörünün primer tarafında meydana gelen tek faz toprak arızasında, arızanın meydana geldiği fazın gerilimi sıfır olmamıştır.



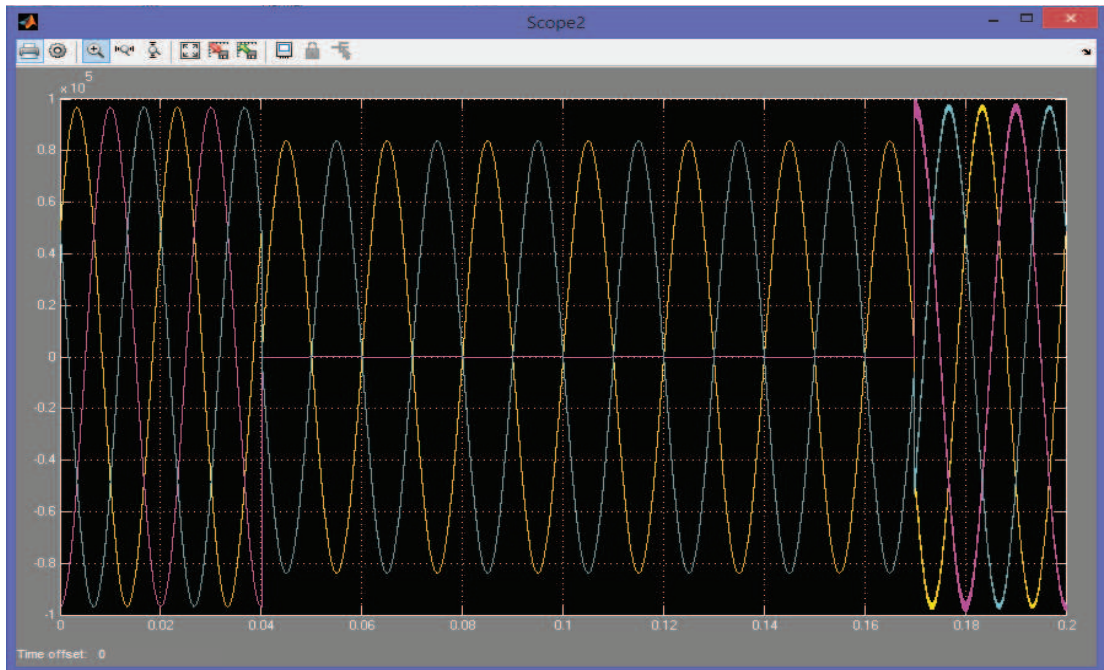
Şekil 5.24. Tek faz toprak arızasından kaynaklanan kısa süreli gerilim sarkması (TRF-2'nin primer tarafı)



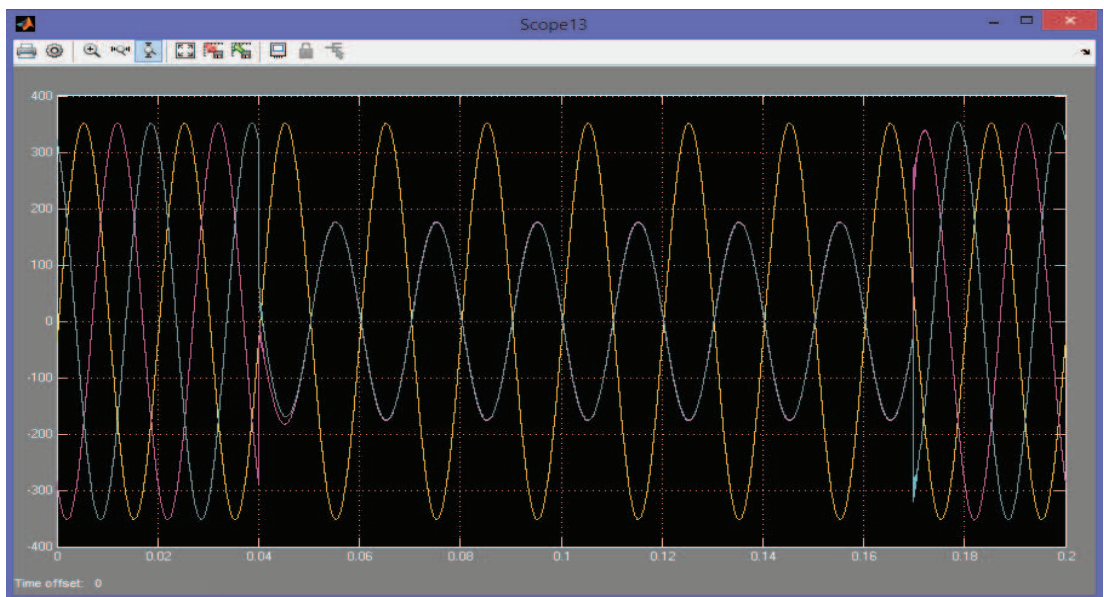
Şekil 5.25. Tek faz toprak arızasından kaynaklanan kısa süreli gerilim sarkması (TRF-6'nın sekonder tarafı)

5.3.6. A noktasında faz faz arızası

A noktasına faz faz arızası uygulanınca TRF-2 transformatörünün primer tarafında (69-1 barasında) gözlenen gerilim dalga şekli Şekil 5.26.'da, TRF-6 transformatörünün sekonder tarafındaki gerilim dalga şekli Şekil 5.27.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.26. Faz faz arızasından kaynaklanan kısa süreli gerilim sarkması (TRF-2'nin primer tarafı)

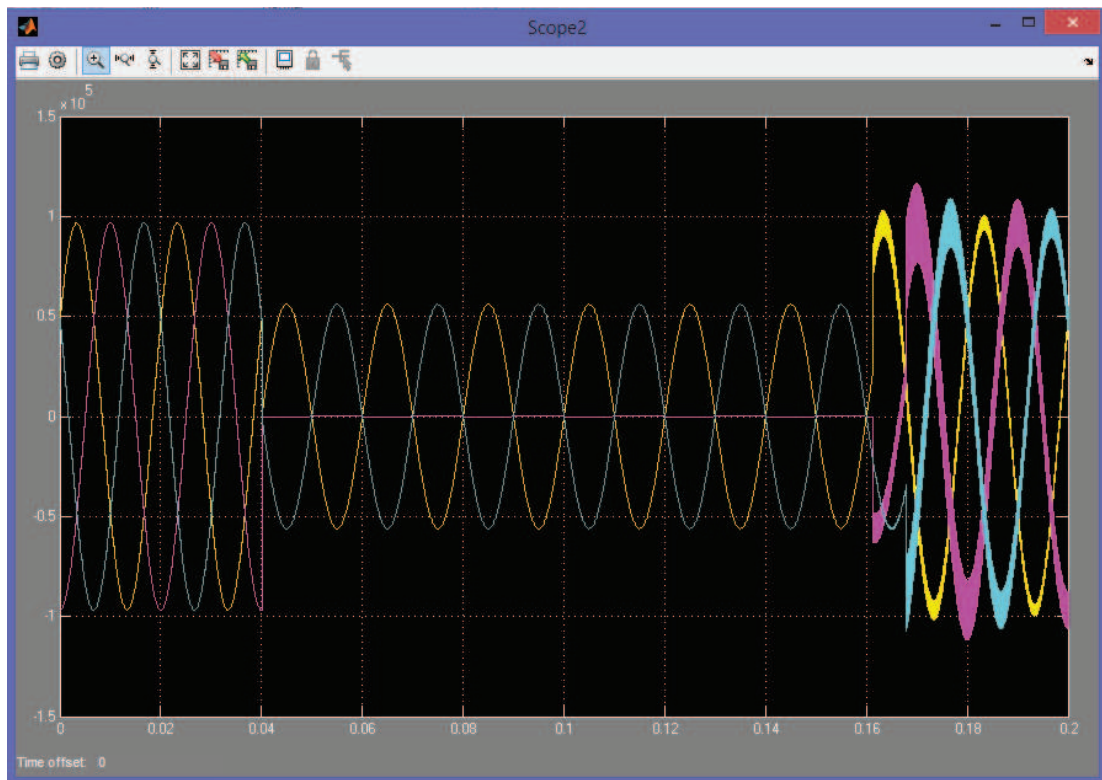


Şekil 5.27. Faz faz arızasından kaynaklanan kısa süreli gerilim sarkması (TRF-6'nın sekonder tarafı)

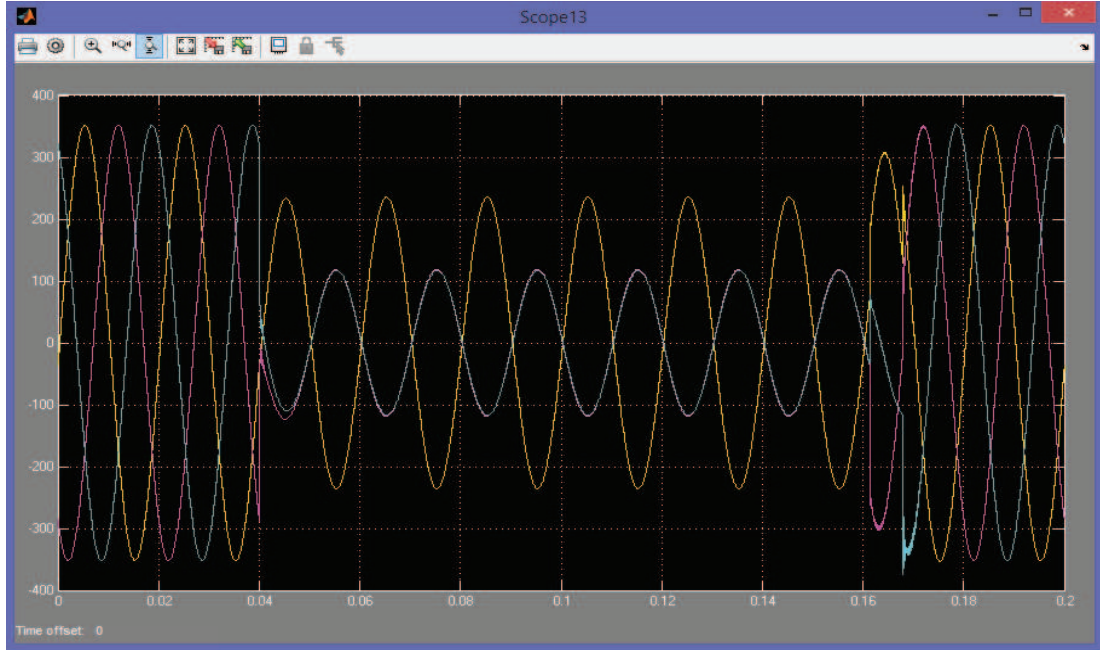
TRF-2 transformatörünün bağlantı şekli D1-Y, TRF-6 transformatörünün bağlantı şekli Y-D1 şeklindedir.

5.3.7. A noktasında iki faz toprak arızası

A noktasına iki faz toprak arızası uygulanınca TRF-2 transformatörünün primer tarafında (69-1 barasında) gözlenen gerilim dalga şekli Şekil 5.28.'de, TRF-6 transformatörünün sekonder tarafındaki gerilim dalga şekli Şekil 5.29.'da gösterilmiştir. TRF-2 transformatörünün bağlantı şekli D1-Y, TRF-6 transformatörünün bağlantı şekli Y-D1 şeklindedir.



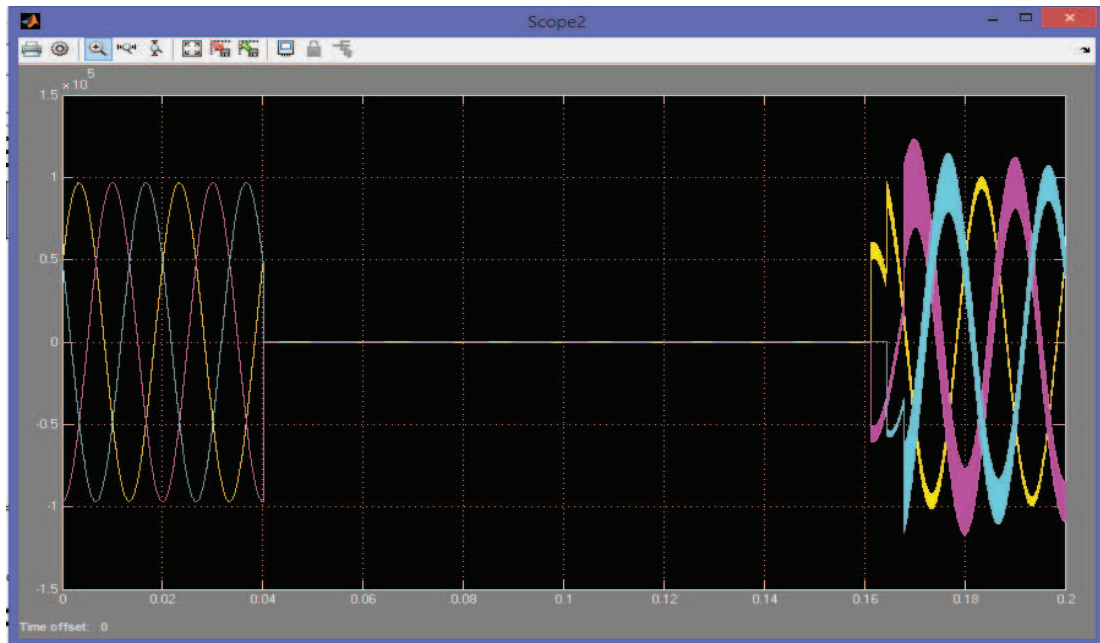
Şekil 5.28. İki faz toprak arızasından kaynaklanan kısa süreli gerilim sarkması (TRF-2'nin primer tarafı)



Şekil 5.29. İki faz toprak arızasından kaynaklanan kısa süreli gerilim sarkması (TRF-6'nın sekonder tarafı)

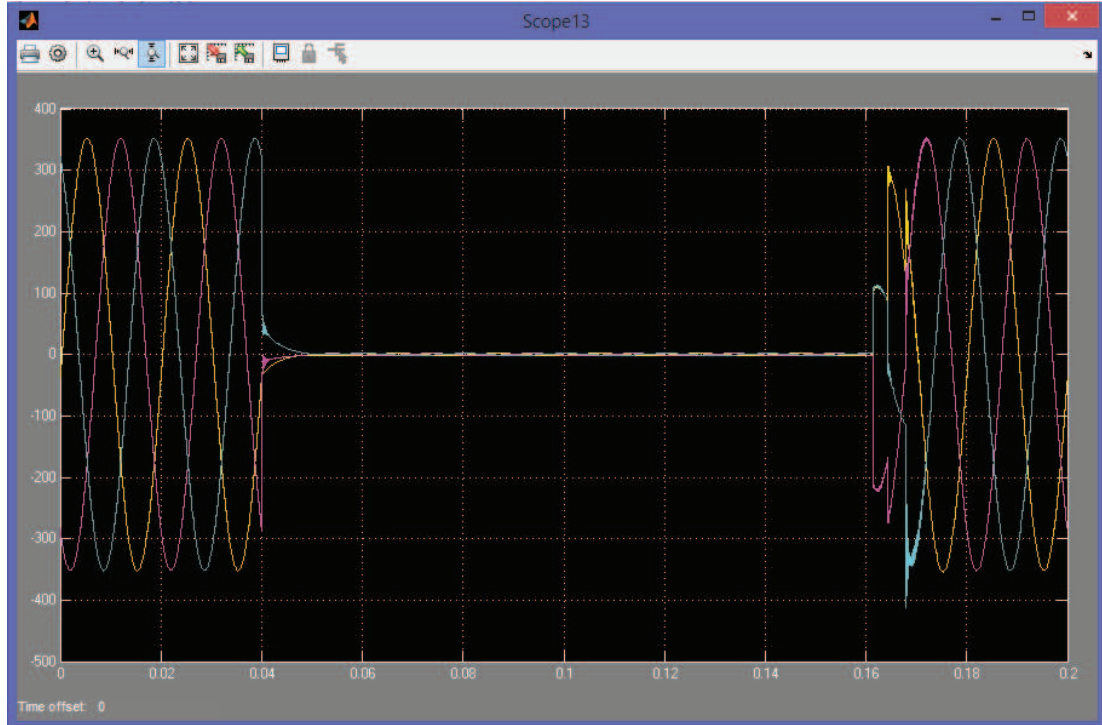
5.3.8. A noktasında üç faz toprak arızası

A noktasına üç faz toprak arızası uygulanınca TRF-2 transformatörünün primer tarafında (69-1 barasında) gözlenen gerilim dalga şekli Şekil 5.30.'da, TRF-6 transformatörünün sekonder tarafındaki gerilim dalga şekli Şekil 5.31.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.30. Üç faz toprak arızasından kaynaklanan kısa süreli gerilim sarkması (TRF-2'nin primer tarafı)

TRF-2 transformatörünün bağlantı şekli D1-Y, TRF-6 transformatörünün bağlantı şekli Y-D1 şeklindedir.



Şekil 5.31. Üç faz toprak arızasından kaynaklanan kısa süreli gerilim sarkması (TRF-6'nın sekonder tarafı)

Yukarıda yapılan uygulamalarda TRF-2 ve TRF-6 transformatörlerinin bağlantı şekilleri aynı seçilmiş ve oluşan gerilim dalga şekilleri gösterilmiştir.

Aşağıdaki tablolarda ise; önce B noktasına uygulanacak arıza seçilmiştir. Sonra TRF-6 transformatörünün bağlantı şekli, dokuz bağlantı şeklinden herbiri sırayla seçilmiştir. Kullanılan bağlantı şekilleri sırasıyla; Yg-Y, Y-Y, Y-Yg, D1-D1, Y-D1, Yg-D1, D1-Y, Yg-Yg, D1-Yg bağlantılarıdır. TRF-2 transformatörünün primer tarafında bulunan besleme kaynağının arızalara karşı sistemi iyileştirici etkisi vardır. TRF-6 transformatörünün sekonder tarafında oluşan gerilim dalga şekli TRF-2 transformatörünün bağlantı şeklinin değişmesinden etkilenir. Bu etkiden dolayı önce TRF-2 için bir bağlantı şekli seçilmiştir, sonra TRF-6 transformatörü için dokuz bağlantı şekli sırasıyla uygulanmış ve TRF-6'nın sekonderinde oluşan gerilimler kaydedilmiştir. Bu uygulamalar TRF-2'nin diğer sekiz bağlantısı için tekrarlanmıştır.

B noktasına yukarıda anlatılan dört farklı arıza sırasıyla uygulanmış ve elde edilen değerler Tablo 5.1., Tablo 5.2., Tablo 5.3.'ün üst kısmında gösterilmiştir.

Arızaların A noktasına uygulanmasıyla oluşan gerilim dalga şekli değerleri yukarıdaki paragrafta anlatıldığı gibi tekrarlanarak elde edilmiştir ve Tablo 5.1., Tablo 5.2., Tablo 5.3.'ün alt kısmında gösterilmiştir. Buradaki tek fark, arızaların sistemdeki uygulama yerlerinin farklı olmasıdır. Bu farkın oluşturulma nedeni ise önceki kısımlarda anlatıldığı gibi, bir transformatörün ve farklı bağlantı şekillerinin kısa süreli gerilim sarkmalarının yayılmaları üzerine etkisi ve kaskad bağlı iki transformatörün ve farklı bağlantı şekillerinin kısa süreli gerilim sarkmalarının yayılmaları üzerine etkilerini elde etmektir.

Üç faz toprak arızası B ve A noktalarına uygulandığında, TRF-2 ve TRF-6 transformatörlerinin tüm bağlantıları için TRF-6'nın sekonderindeki A, B ve C faz gerilimleri sıfır olmuştur. Tüm durumlar sıfır değerini aldığı için tablo olarak belirtilmemiştir.

Tablo 5.3. B ve A noktalarına tek faz toprak arızası uygulanınca TRF-6 ve TRF-2 transformatörünün 9 değişik bağlantı şekli için elde edilen değerler

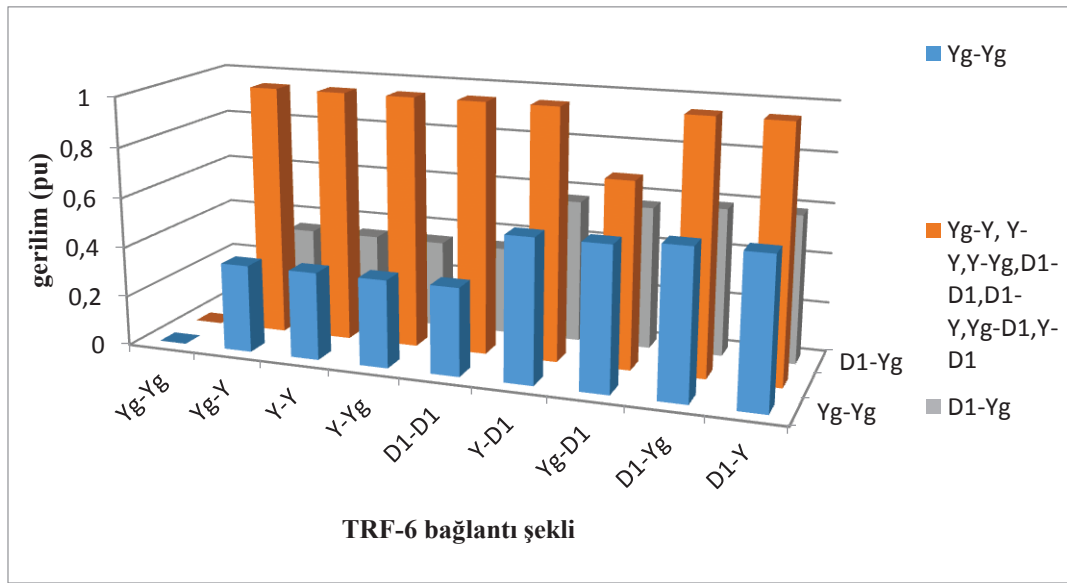
TRF-6 bağlantı şekilleri	B noktasına Tek Faz Toprak Arızası Uygulanınca TRF-6'nın sekonder tarafında elde edilen gerilim değerleri																										
	TRF-2 transformatörünün bağlantı şekilleri																										
	Yg-Yg			Yg-Y			Y-Y			Y-Yg			D1-D1			Y-D1			Yg-D1			D1-Yg			D1-Y		
	Van	Vbn	Vcn	Van	Vbn	Vcn	Van	Vbn	Vcn	Van	Vbn	Vcn	Van	Vbn	Vcn	Van	Vbn	Vcn	Van	Vbn	Vcn	Van	Vbn	Vcn	Van	Vbn	Vcn
Yg-Yg	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1
Yg-Y	0,35	0,89	0,88	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Y-Y	0,35	0,89	0,88	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Y-Yg	0,35	0,89	0,88	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
D1-D1	0,35	0,89	0,88	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Y-D1	0,57	0,59	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Yg-D1	0,57	0,59	1	0,74	0,76	1	0,74	0,76	1	0,74	0,76	1	0,74	0,76	1	0,74	0,76	1	0,74	0,76	1	0,57	0,59	1	0,74	0,76	1
D1-Yg	0,59	1	0,57	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
D1-Y	0,59	1	0,57	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	A noktasına Tek Faz Toprak Arızası Uygulanınca TRF-6'nın sekonder tarafında elde edilen gerilim değerleri																										
Yg-Yg	0	1	1	0,34	0,88	0,88	0,34	0,88	0,88	0,34	0,88	0,88	0,34	0,88	0,88	0,58	0,58	1	0,58	0,58	1	0,58	1	0,58	0,58	1	0,58
Yg-Y	0,34	0,88	0,88	0,34	0,88	0,88	0,34	0,88	0,88	0,34	0,88	0,88	0,34	0,88	0,88	0,58	0,58	1	0,58	0,58	1	0,58	1	0,58	0,58	1	0,58
Y-Y	0,34	0,88	0,88	0,34	0,88	0,88	0,34	0,88	0,88	0,34	0,88	0,88	0,34	0,88	0,88	0,58	0,58	1	0,58	0,58	1	0,58	1	0,58	0,58	1	0,58
Y-Yg	0,34	0,88	0,88	0,34	0,88	0,88	0,34	0,88	0,88	0,34	0,88	0,88	0,34	0,88	0,88	0,58	0,58	1	0,58	0,58	1	0,58	1	0,58	0,58	1	0,58
D1-D1	0,34	0,88	0,88	0,34	0,88	0,88	0,34	0,88	0,88	0,34	0,88	0,88	0,34	0,88	0,88	0,58	0,58	1	0,58	0,58	1	0,58	1	0,58	0,58	1	0,58
Y-D1	0,58	0,58	1	0,58	0,58	1	0,58	0,58	1	0,58	0,58	1	0,58	0,58	1	0,88	0,34	0,88	0,88	0,34	0,88	0,34	0,88	0,88	0,34	0,88	0,88
Yg-D1	0,58	0,58	1	0,58	0,58	1	0,58	0,58	1	0,58	0,58	1	0,58	0,58	1	0,88	0,34	0,88	0,88	0,34	0,88	0,34	0,88	0,88	0,34	0,88	0,88
D1-Yg	0,58	1	0,58	0,58	1	0,58	0,58	1	0,58	0,58	1	0,58	0,58	1	0,58	1	0,58	0,34	0,88	0,88	0,34	0,88	0,88	0,88	0,34	0,88	0,34
D1-Y	0,58	1	0,58	0,58	1	0,58	0,58	1	0,58	0,58	1	0,58	0,58	1	0,58	1	0,58	0,34	0,88	0,88	0,34	0,88	0,88	0,88	0,34	0,88	0,34

Tablo 5.4. B ve A noktalarına faz faz arızası uygulanınca TRF-6 ve TRF-2 transformatörünün 9 değişik bağlantı şekli için elde edilen değerler

TRF-6 bağlantı şekilleri	B noktasına Faz Faz Arızası Uygulanınca TRF-6'nın sekonder tarafında elde edilen gerilim değerleri																											
	TRF-2 transformatörünün bağlantı şekilleri																											
	Yg-Yg			Yg-Y			Y-Y			Y-Yg			D1-D1			Y-D1			Yg-D1			D1-Yg			D1-Y			
	Van	Vbn	Vcn	Van	Vbn	Vcn	Van	Vbn	Vcn	Van	Vbn	Vcn	Van	Vbn	Vcn	Van	Vbn	Vcn	Van	Vbn	Vcn	Van	Vbn	Vcn	Van	Vbn	Vcn	
Yg-Yg	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	
Yg-Y	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	
Y-Y	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	
Y-Yg	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	
D1-D1	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	
Y-D1	0,87	0,87	0	0,87	0,87	0	0,87	0,87	0	0,87	0,87	0	0,87	0,87	0	0,9	0,87	0	0,87	0,87	0	0,87	0,87	0	0,87	0,87	0	
Yg-D1	0,87	0,87	0	0,87	0,87	0	0,87	0,87	0	0,87	0,87	0	0,87	0,87	0	0,9	0,87	0	0,87	0,87	0	0,87	0,87	0	0,87	0,87	0	
D1-Yg	0,87	0	0,87	0,87	0	0,87	0,87	0	0,87	0	0,87	0,87	0	0,87	0	0,87	0,9	0	0,87	0,87	0	0,87	0	0,87	0,87	0	0,87	
D1-Y	0,87	0	0,87	0,87	0	0,87	0,87	0	0,87	0	0,87	0,87	0	0,87	0	0,87	0,9	0	0,87	0,87	0	0,87	0	0,87	0,87	0	0,87	
	A noktasına Faz Faz Arızası Uygulanınca TRF-6'nın sekonder tarafında elde edilen gerilim değerleri																											
Yg-Yg	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	0,9	0,87	0	0,87	0,87	0	0,87	0	0,87	0,87	0	0,87	
Yg-Y	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	0,9	0,87	0	0,87	0,87	0	0,87	0	0,87	0,87	0	0,87	
Y-Y	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	0,9	0,87	0	0,87	0,87	0	0,87	0	0,87	0,87	0	0,87	
Y-Yg	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	0,9	0,87	0	0,87	0,87	0	0,87	0	0,87	0,87	0	0,87	
D1-D1	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	0,9	0,87	0	0,87	0,87	0	0,87	0	0,87	0,87	0	0,87	
Y-D1	0,87	0,87	0	0,87	0,87	0	0,87	0,87	0	0,87	0,87	0	0,87	0,87	0	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5
Yg-D1	0,87	0,87	0	0,87	0,87	0	0,87	0,87	0	0,87	0,87	0	0,87	0,87	0	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5
D1-Yg	0,87	0	0,87	0,87	0	0,87	0,87	0	0,87	0	0,87	0,87	0	0,87	0	0,87	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1
D1-Y	0,87	0	0,87	0,87	0	0,87	0,87	0	0,87	0	0,87	0,87	0	0,87	0	0,87	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1

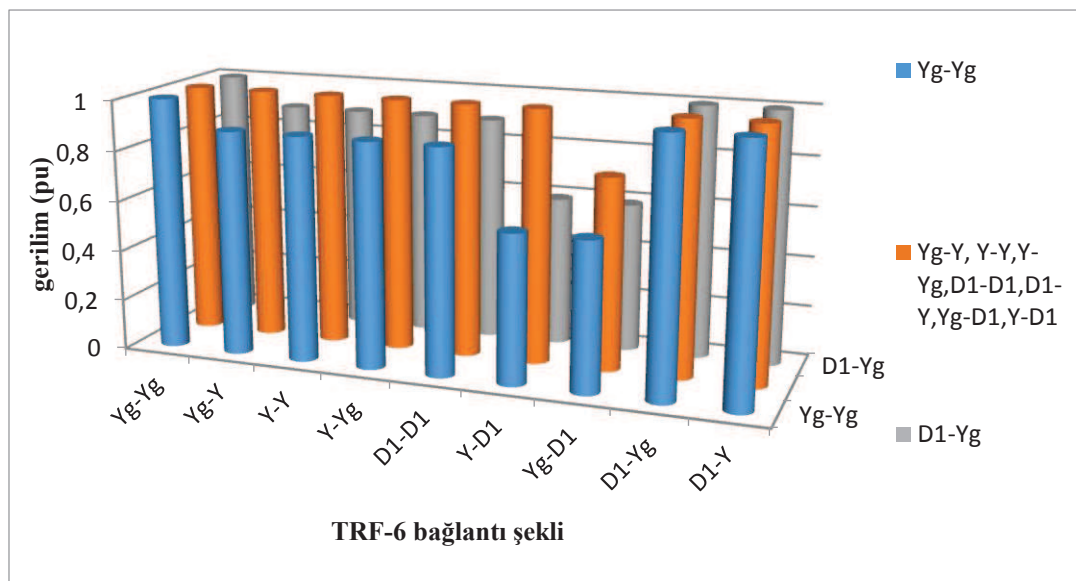
Tablo 5.5. B ve A noktalarına iki faz toprak arızası uygulanınca TRF-6 ve TRF-2 transformatörünün 9 değişik bağlantı şekli için elde edilen gerilim değerleri

TRF-6 bağlantı şekilleri	B noktasına İki Faz Toprak Arızası Uygulanınca TRF-6'nın sekonder tarafında elde edilen gerilim değerleri																											
	TRF-2 transformatörünün bağlantı şekilleri																											
	Yg-Yg			Yg-Y			Y-Y			Y-Yg			D1-D1			Y-D1			Yg-D1			D1-Yg			D1-Y			
	Van	Vbn	Vcn	Van	Vbn	Vcn	Van	Vbn	Vcn	Van	Vbn	Vcn	Van	Vbn	Vcn	Van	Vbn	Vcn	Van	Vbn	Vcn	Van	Vbn	Vcn	Van	Vbn	Vcn	
Yg-Yg	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	
Yg-Y	0,68	0,34	0,34	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	0,68	0,34	0,34	1	0,5	0,5	
Y-Y	0,68	0,34	0,34	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	0,68	0,34	0,34	1	0,5	0,5	
Y-Yg	0,68	0,34	0,34	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	0,68	0,34	0,34	1	0,5	0,5	
D1-D1	0,68	0,34	0,34	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	0,68	0,34	0,34	1	0,5	0,5	
Y-D1	0,59	0,59	0	0,86	0,86	0	0,86	0,86	0	0,86	0,86	0	0,86	0,86	0	0,86	0,86	0	0,86	0,86	0	0,59	0,59	0	0,86	0,86	0	
Yg-D1	0,54	0,54	0	0,76	0,76	0	0,76	0,76	0	0,76	0,76	0	0,76	0,76	0	0,76	0,76	0	0,76	0,76	0	0,54	0,54	0	0,76	0,76	0	
D1-Yg	0,59	0	0,59	0,86	0	0,86	0,86	0	0,86	0,86	0	0,86	0	0,86	0,86	0	0,86	0	0,86	0,86	0	0,59	0	0,59	0,86	0	0,86	
D1-Y	0,59	0	0,59	0,86	0	0,86	0,86	0	0,86	0,86	0	0,86	0	0,86	0,86	0	0,86	0	0,86	0,86	0	0,59	0	0,59	0,86	0	0,86	
	A noktasına İki Faz Toprak Arızası Uygulanınca TRF-6'nın sekonder tarafında elde edilen gerilim değerleri																											
Yg-Yg	1	0	0	0,66	0,34	0,34	0,66	0,34	0,34	0,66	0,34	0,34	0,66	0,34	0,34	0,58	0,58	0	0,58	0,58	0	0,58	0	0,58	0,58	0	0,58	
Yg-Y	1	0	0	0,66	0,34	0,34	0,66	0,34	0,34	0,66	0,34	0,34	0,66	0,34	0,34	0,58	0,58	0	0,58	0,58	0	0,58	0	0,58	0,58	0	0,58	
Y-Y	1	0	0	0,66	0,34	0,34	0,66	0,34	0,34	0,66	0,34	0,34	0,66	0,34	0,34	0,58	0,58	0	0,58	0,58	0	0,58	0	0,58	0,58	0	0,58	
Y-Yg	1	0	0	0,66	0,34	0,34	0,66	0,34	0,34	0,66	0,34	0,34	0,66	0,34	0,34	0,58	0,58	0	0,58	0,58	0	0,58	0	0,58	0,58	0	0,58	
D1-D1	1	0	0	0,66	0,34	0,34	0,66	0,34	0,34	0,66	0,34	0,34	0,66	0,34	0,34	0,58	0,58	0	0,58	0,58	0	0,58	0	0,58	0,58	0	0,58	
Y-D1	0,58	0,58	0	0,58	0,58	0	0,58	0,58	0	0,58	0,58	0	0,58	0,58	0	0,33	0,67	0,33	0,33	0,67	0,33	0,33	0,67	0,33	0,33	0,67	0,33	0,33
Yg-D1	0,58	0,58	0	0,58	0,58	0	0,58	0,58	0	0,58	0,58	0	0,58	0,58	0	0,33	0,67	0,33	0,33	0,67	0,33	0,33	0,67	0,33	0,33	0,67	0,33	0,33
D1-Yg	0,58	0	0,58	0,58	0	0,58	0,58	0	0,58	0,58	0	0,58	0	0,58	0,58	0,67	0,33	0,33	0,67	0,33	0,33	0,33	0,33	0,67	0,33	0,33	0,67	
D1-Y	0,58	0	0,58	0,58	0	0,58	0,58	0	0,58	0,58	0	0,58	0	0,58	0,58	0,67	0,33	0,33	0,67	0,33	0,33	0,33	0,33	0,67	0,33	0,33	0,67	

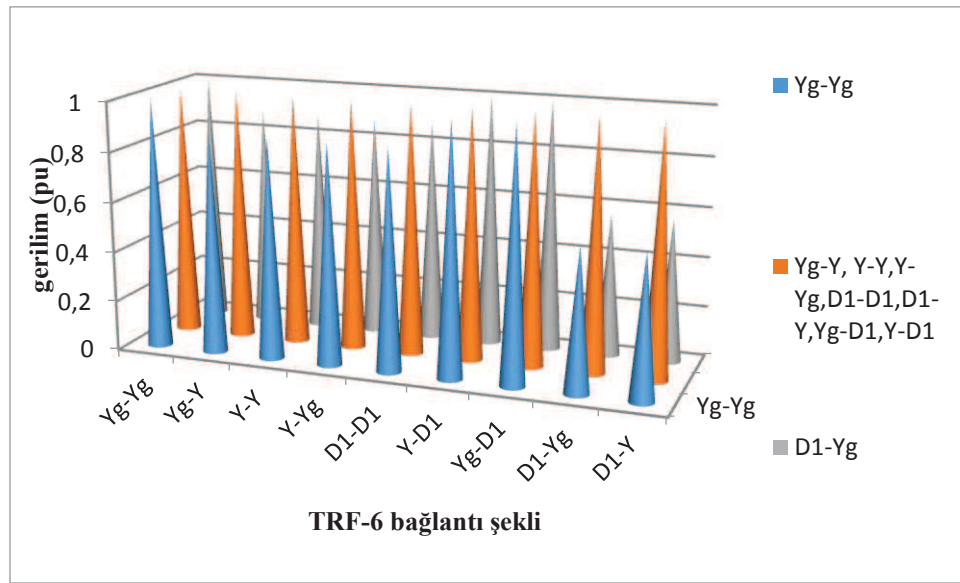


Şekil 5.32. A fazı gerilim büyüklükleri

Şekil 5.1.'de gösterilen uygulama sisteminin B noktasına tek faz toprak arızası uygulanmıştır. Arıza A fazına uygulanmış ve TRF-6 transformatörünün dokuz bağlantı şekli için oluşan gerilim büyüklükleri grafik olarak; A fazı gerilim büyüklükleri Şekil 5.32.'de, B fazı gerilim büyüklükleri Şekil 5.33.'de, C fazı gerilim büyüklükleri Şekil 5.34.'te gösterilmiştir. Grafiklerde, TRF-2 bağlantılarından aynı gerilim değerleri oluşan bağlantı şekilleri gruplandırılarak aynı renkte gösterilmiştir.



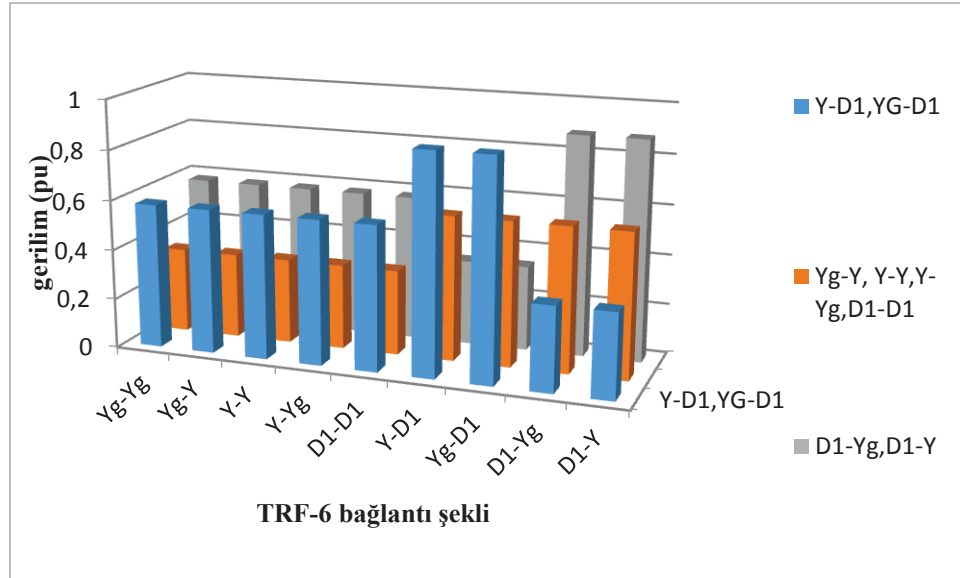
Şekil 5.33. B fazı gerilim büyüklükleri



Şekil 5.34. C fazı gerilim büyüklükleri

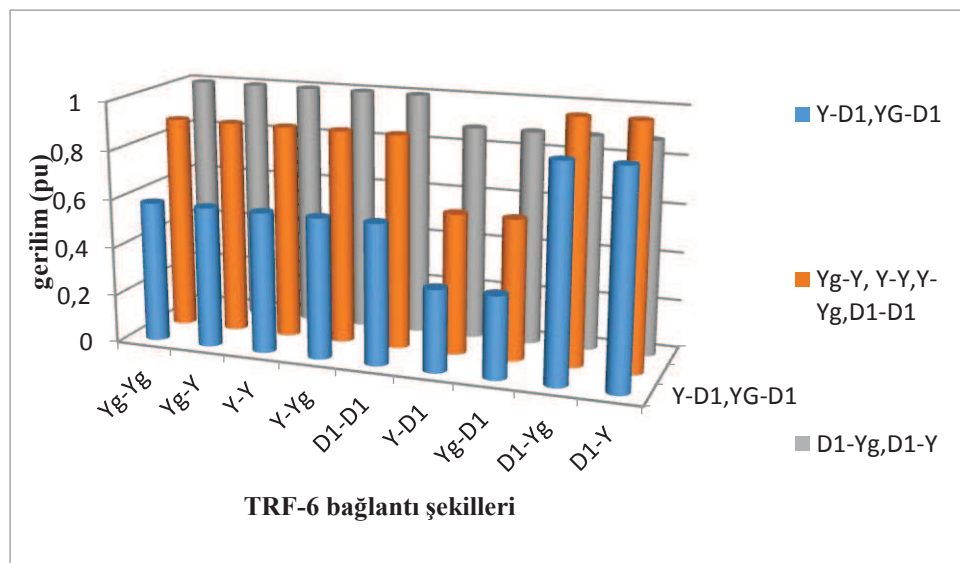
Şekil 5.32-34. grafiklerden de anlaşıldığı üzere, sadece tek faz arızanın uygulandığı A faz gerilimi TRF-6'nın Yg-Yg bağlantısı için sıfır olmuştur. A faz gerilimi diğer bağlantıların hiçbirinde sıfır değerine sarkmamıştır. B faz gerilimleri ise TRF-6'nın Y-D1 ve Yg-D1 bağlantısı için en küçük değerini alarak %59 gerilim değerine sarkmıştır. C faz gerilimleri ise TRF-6'nın D1-Y ve D1-Yg bağlantıları için en küçük değerini alarak %57 gerilim değerine sarkmıştır.

Şekil 5.1.'de gösterilen uygulama sisteminin A noktasına tek faz toprak arızası uygulanmıştır. Arıza A fazına uygulanmış ve TRF-6 transformatörünün dokuz bağlantı şekli için oluşan gerilim büyüklükleri grafik olarak; A fazı gerilim büyüklükleri Şekil 5.35.'de, B fazı gerilim büyüklükleri Şekil 5.36.'da, C fazı gerilim büyüklükleri Şekil 5.37.'de gösterilmiştir.

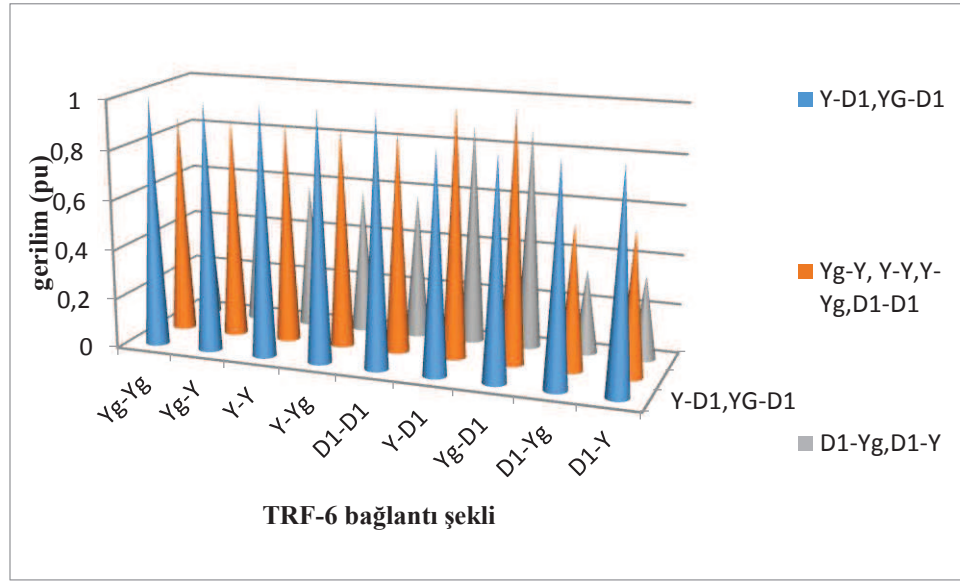


Şekil 5.35. A fazı gerilim büyüklükleri

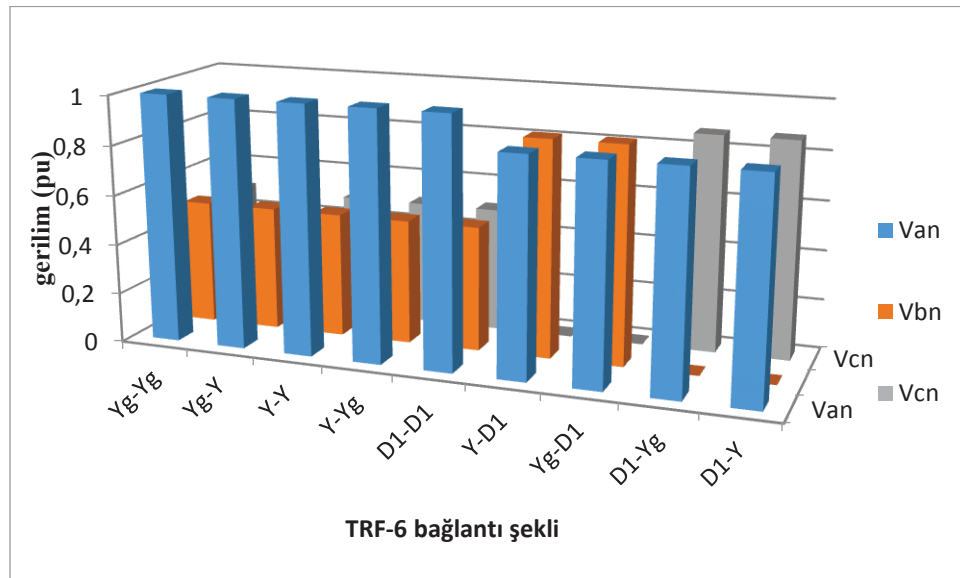
Şekil 5.35-37.'de, TRF-2'nin Yg-Yg bağlantı şekli gösterilmemiştir. Bu bağlantının Yg-Y,Y-Y, Y-Yg ve D1-D1 bağlantılarından farklı olarak oluşan tek gerilim büyüklüğü arızanı meydana geldiği A faz gerilimi Yg-Yg bağlantı şeklinde sıfır, B ve C faz gerilim değerleri arıza öncesi değerlerle aynı kalarak bir sarkma meydana gelmemiştir, diğer tüm durumlar aynıdır. B faz gerilimleri ise TRF-6'nın Y-D1 ve Yg-D1 bağlantıları için en küçük değerini alarak %34 gerilim değerine sarkmıştır. C faz gerilimleri ise TRF-6'nın D1-Y ve D1-Yg bağlantıları için en küçük değerini alarak %34 gerilim değerine sarkmıştır.



Şekil 5.36. B fazı gerilim büyüklükleri



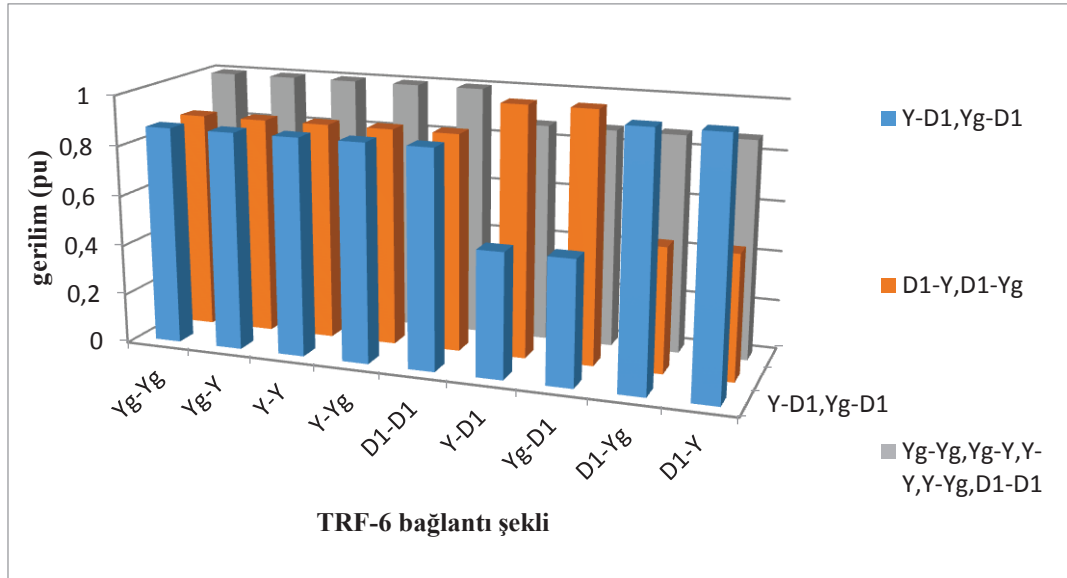
Şekil 5.37. C fazı gerilim büyüklükleri



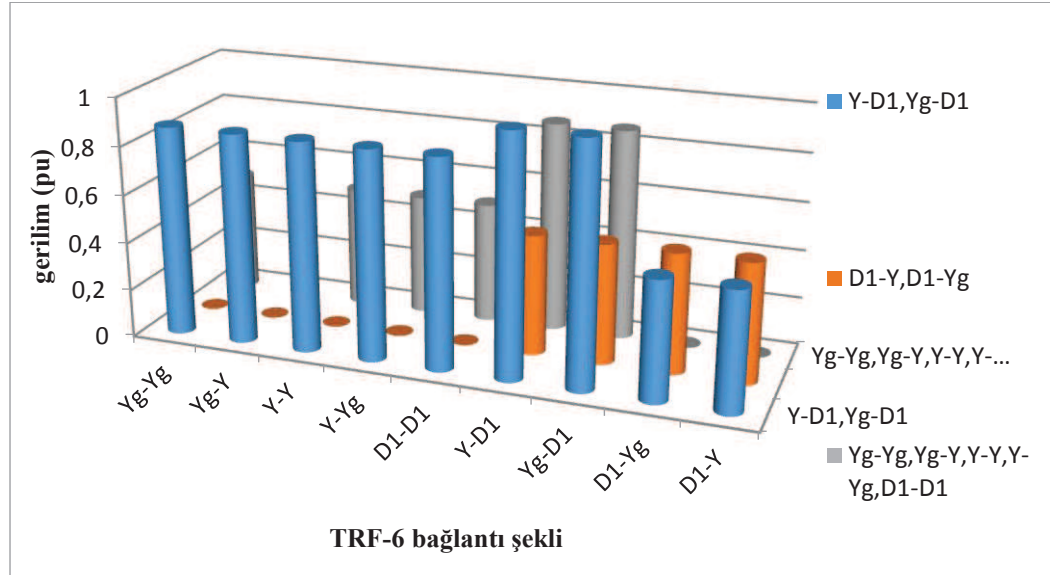
Şekil 5.38. A, B ve C faz gerilim büyüklükleri

Uygulama sisteminde B noktasına faz-faz arızası uygulanmasıyla elde edilen gerilim değerleri grafik olarak Şekil 5.38.'de verilmiştir. TRF-6'nın dokuz bağlantı şekli içinde aynı sonuçlar elde edilmiştir. Arızaların meydana geldiği fazlardan B faz gerilimi TRF-6'nın D1-Y ve D1-Yg bağlantıları için sıfır değerine, C faz gerilimi ise Y-D1 ve Yg-D1 bağlantıları için sıfır değerine sarkmıştır. Diğer bağlantı şekillerinin hiçbiri için (arızanın meydana geldiği fazlar dahil) faz gerilimleri sıfıra sarkmamıştır.

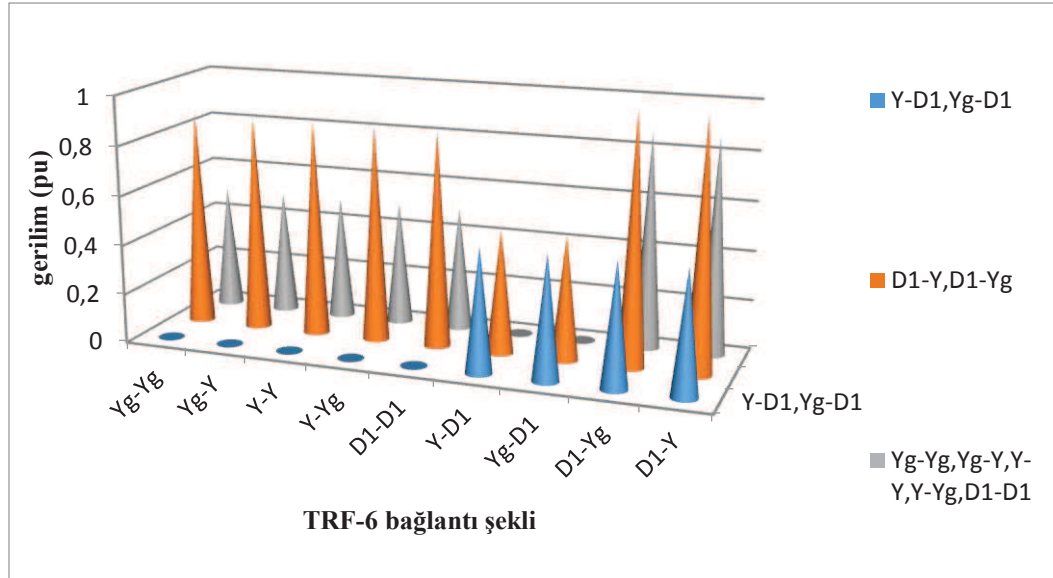
Uygulama sisteminde A noktasına faz-faz arızası uygulanmasıyla elde edilen gerilim değerleri grafik olarak verilmiştir. Şekil 5.39. A fazı gerilim değerlerini, Şekil 5.40. B fazı gerilim değerlerini ve Şekil 5.41. C fazı gerilim değerlerini göstermektedir.



Şekil 5.39. A fazı gerilim değerleri



Şekil 5.40. B fazı gerilim değerleri

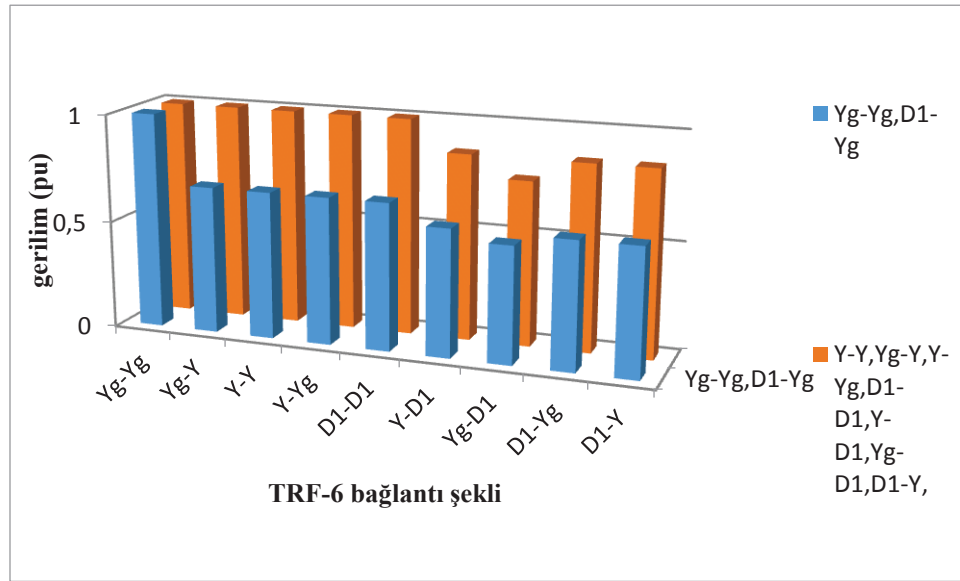


Şekil 5.41. C fazı gerilim değerleri

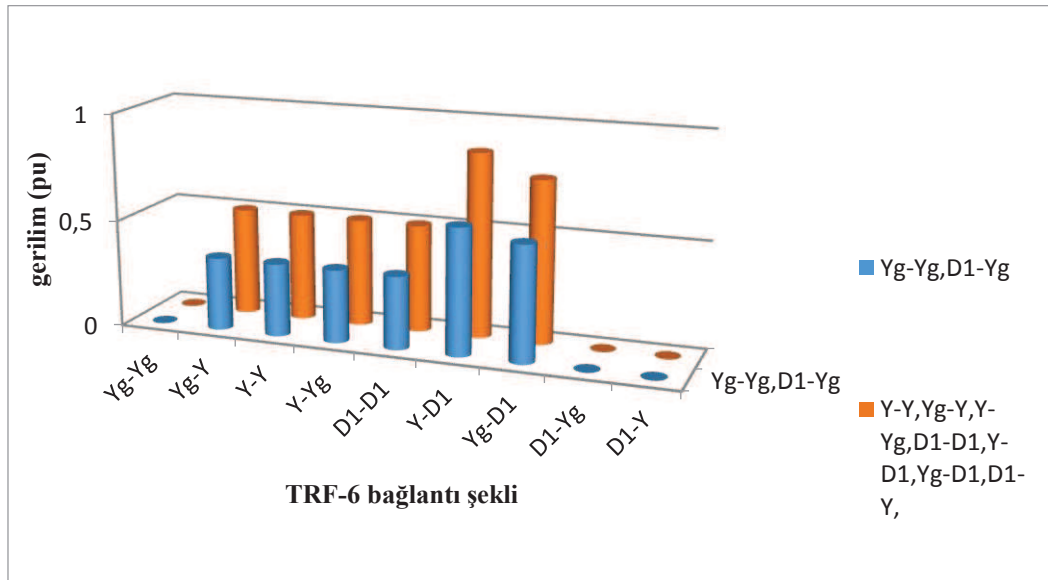
Şekil 5.39-41. grafikleri için, arıza A fazında meydana gelmediği için A faz gerilimleri TRF-6'nın hiçbir bağlantı şekli için sıfır değerine sarkmaz. A faz gerilimlerinde oluşan en küçük değer %50 sarkmayla meydana gelir. B faz gerilimleri ise, TRF-2'nin D1-Y ve D1-Yg bağlantıları ve TRF-6'nın Yg-Yg, Yg-Y, Y-Y, Y-Yg ve D1-D1 bağlantıları için ve TRF-2'nin Yg-Yg, Yg-Y, Y-Y, Y-Yg, D1-D1 bağlantıları ve TRF-6'nın D1-Yg ve D1-Y bağlantıları için sıfır değerine sarkar. C faz gerilimleri ise, TRF-2'nin Y-D1 ve Yg-D1 bağlantıları ve TRF-6'nın Yg-Yg, Yg-Y, Y-Y, Y-Yg ve D1-D1 bağlantıları için ve TRF-2'nin Yg-Yg, Yg-Y, Y-Y, Y-Yg, D1-D1 bağlantıları ve TRF-6'nın Y-D1 ve Yg-D1 bağlantıları için sıfır değerine sarkar.

Uygulama sisteminde B noktasına iki faz toprak arızası uygulanmasıyla elde edilen gerilim değerleri grafik olarak verilmiştir. Şekil 5.42. A fazı gerilim değerlerini, Şekil 5.43. B fazı gerilim değerlerini ve Şekil 5.44. C fazı gerilim değerlerini göstermektedir.

Şekil 5.42-44. grafikleri için, arıza A fazında meydana gelmediği için A faz gerilimleri TRF-6'nın hiçbir bağlantı şekli için sıfır değerine sarkmaz. A faz gerilimlerinde oluşan en küçük değer %54 sarkmayla TRF-6'nın Yg-D1 bağlantısında meydana gelir. B faz gerilimleri ise, TRF-6'nın Yg-Yg, D1-Yg ve D1-Y bağlantıları için sıfıra sarkar.



Şekil 5.42. A fazı gerilim değerleri(iki faz toprak arızası)

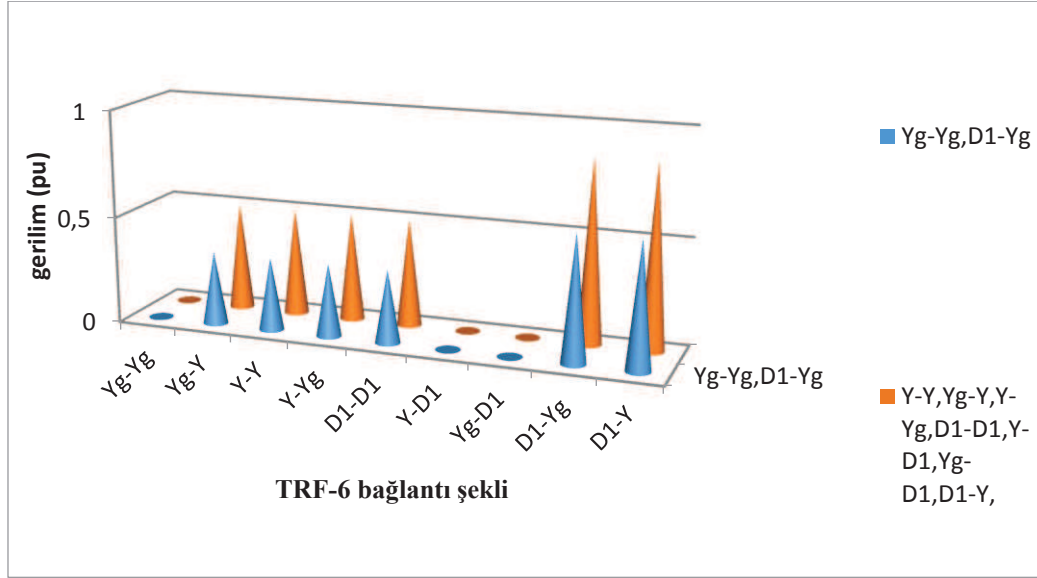


Şekil 5.43. B fazı gerilim değerleri

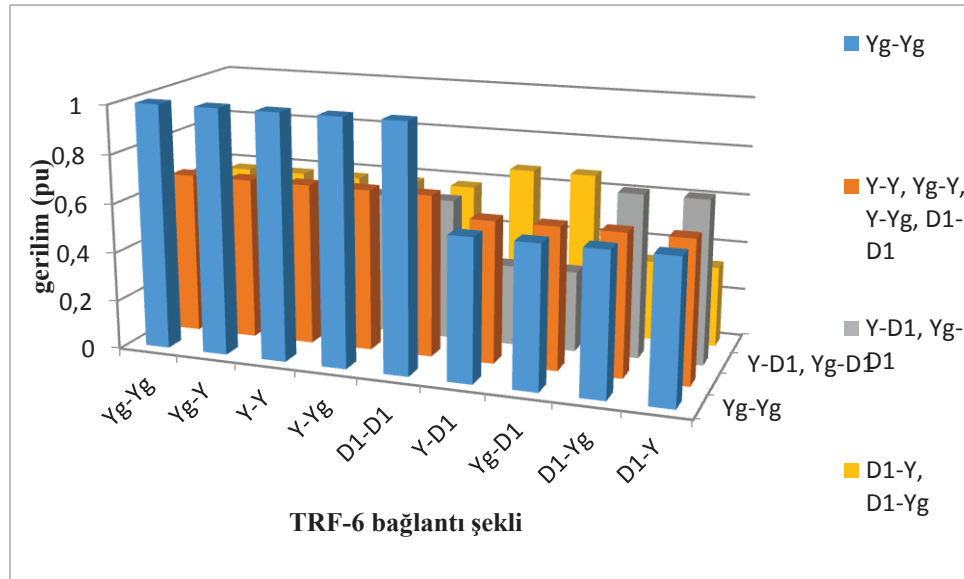
Diğer bağlantı durumlarında da B faz gerilimleri arızadan etkilenerek sarkmalar meydana gelir. C faz gerilimleri ise, TRF-6'nın Yg-Yg, Yg-D1 ve Y-D1 bağlantıları için sıfıra sarkar, diğer bağlantı durumlarında da C faz gerilimleri arızadan etkilenerek sarkmalar meydana gelir.

Uygulama sisteminde A noktasına iki faz toprak arızası uygulanmasıyla elde edilen gerilim değerleri grafik olarak verilmiştir. Şekil 5.45. A fazı gerilim değerlerini, Şekil

5.46. B fazı gerilim değerlerini ve Şekil 5.47. C fazı gerilim değerlerini göstermektedir.

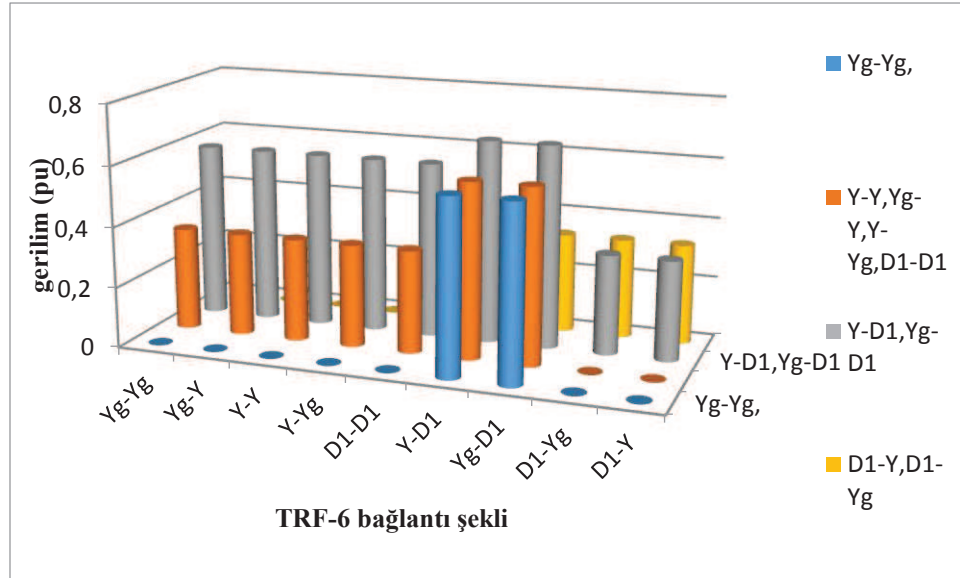


Şekil 5.44. C fazı gerilim değerleri

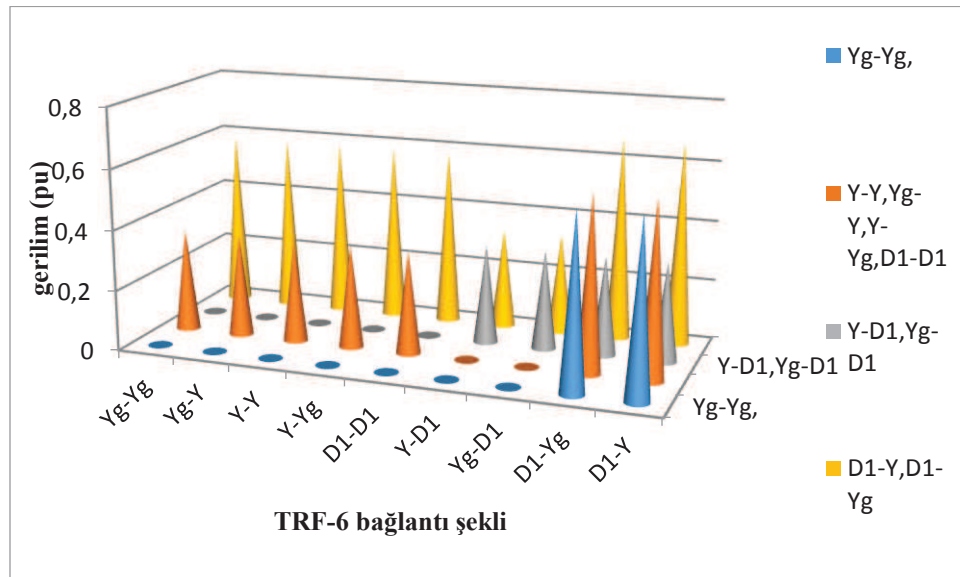


Şekil 5.45. A faz gerilim değerleri

Şekil 5.45-47. grafikleri için, arıza A fazında meydana gelmediği için A faz gerilimleri TRF-6'nın hiçbir bağlantı şekli için sıfır değerine sarkmaz. A faz gerilimlerinde oluşan en küçük değer %33 sarkmayla TRF-2 ve TRF-6'nın Y-D1 ve Yg-D1 bağlantıları ve TRF-2 ve TRF-6'nın D1-Y ve D1-Yg bağlantılarında meydana gelir.



Şekil 5.46. B faz gerilim değerleri



Şekil 5.47. C faz gerilim değerleri

B faz gerilimleri ise, TRF-2'nin Yg-Yg ve TRF-6'nın Yg-Yg, Y-Yg, Y-Y, Yg-Y, D1-D1, D1-Yg, D1-Y bağlantıları için, ve TRF-2'nin Y-Y,Yg-Y,Y-Yg,D1-D1 ve TRF-6'nın D1-Yg, D1-Y bağlantıları için, ve TRF-2'nin D1-Y, D1-Ygve TRF-6'nın Yg-Yg, Y-Y,Yg-Y,Y-Yg,D1-D1 bağlantıları için sıfır değerine sarkar. C faz gerilimleri ise, TRF-2'nin Yg-Yg ve TRF-6'nın Yg-Yg, Y-Yg, Y-Y, Yg-Y, D1-D1, Y-D1, Yg-D1 bağlantıları için, ve TRF-2'nin Y-Y,Yg-Y,Y-Yg,D1-D1 ve TRF-6'nın Y-D1, Yg-D1 bağlantıları için, ve TRF-2'nin Y-D1, Yg-D1ve TRF-6'nın Yg-Yg, Y-Y,Yg-Y,Y-Yg,D1-D1 bağlantıları için sıfır değerine sarkar.

BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Güç kalitesi, enerji piyasasında üretim şirketleri, dağıtım şirketleri ve tüketiciyi ilgilendiren bir konudur. Çoğu endüstriyel kullanıcının etkilendiği en önemli güç kalite problemlerinden biri şüphesiz ki kısa süreli gerilim sarkmalarıdır. Bilgisayarlar, robotlar, PLC gibi mikroişlemci tabanlı ekipmanlar gerilim sarkmalarından kaynaklanan kesintilerden en çok etkilenen başlıca ekipmanlardır.

Bu tezde uygulama ve endüstriyel sistemlerde meydana gelen kısa süreli gerilim sarkmalarını elde etmek için gerekli olan basit teorik modeller verilmiştir. Gerilim sarkmasının yayılmasını, karakteristiğini ve sıklığını etkileyen en önemli faktörler biri olan transformatör bağlantı şekilleri ve arıza yerinin değişmesiyle meydana gelen değişimler araştırılmıştır.

Transformatörün primer tarafında meydana gelen tek faz toprak arızası, bir transformatör üzerinden yayılarak arızanın meydana geldiği A faz gerilimi, Yg-Yg bağlı transformatörün sekonder tarafında gerilim değerinin sıfıra sarkmasına neden olmaktadır. Arıza yeri değiştirilerek kaskad(iki) transformatör üzerinden kısa süreli gerilim sarkması yayıldığında ise, sadece TRF-2 ve TRF-6 transformatörünün Yg-Yg bağlantısında sekonder tarafta oluşan A faz gerilimi sıfıra sarkmıştır. Diğer bağlantılarda ise en küçük% 34'lük bir gerilim sarkmasına maruz kalmıştır.

Transformatör bağlantı şekilleri kısa süreli gerilim sarkmasının yayılmasında gösterdikleri benzer karakteristiklere göre genel olarak üç grupta toplanabilir. Birinci grup; Yg-Yg, Yg-Y, Y-Y, Y-Yg ve D1-D1 bağlantı şekilleri. Bu gruptan Yg-Yg bağlantı şekli arızanın meydana geldiği fazlarda diğer dört bağlantı şekli gibi arızanın etkisini azaltıcı etki gösterememiş ama diğer tüm durumlarda benzer özellikler göstermiştir. İkinci grup; Y-D1, Yg-D1 bağlantı şekilleri tüm durumlarda benzer

özelliik göstermişlerdir. Üçüncü grup; D1-Yg, D1-Y bağlantı şekilleri de tüm durumlarda benzer özellik göstermişlerdir. Bağlantı şekilleri sistemde meydana gelen arızaya bağlı olarak, kısa süreli gerilim sarkmasının alt sistemlere yayılmasında farklı karakteristik göstermişlerdir. Oluşturulmaya çalışılan kaskad yapının da genel olarak kısa süreli gerilim sarkmalarının alt sistemlere yayılmasında azaltıcı etki göstermektedir.

Yüksek kalitede ve sürekli güç tedarikini sağlamak için, diğer gerilim sarkmasını azaltma yöntemleriyle transformatör bağlantı şekilleri de göz önüne alınmalıdır. Baralar üzerinde bulunan yüklerin kısa süreli gerilim sarkmalarından etkilenmesinde arıza yerlerinin etkisi büyüktür.

Transformatör bağlantı çeşitlerinin etkilerinin elde etmek için transformatörün değişik bağlantı şekilleri MATLAB/SIMULINK programında uygulanarak elde edilmiştir. Sistemdeki kısa süreli gerilim sarkma karakteristikleri ve bazı geçici hal davranışlarının bir endüstriyel güç sistemi için yapılmış bir simülasyon çalışmasıdır. Arıza öncesi geçici hal ihmal edilmiştir ve sadece gerilim büyüklüğündeki azalma değil aynı zamanda simetrik durumdaki faz-açı değişmesi de ihmal edilmiştir.

Kısa süreli gerilim sarkmalarının etkilerini azaltmak ve önlemek için, sistemler için gerilim sarkma azaltma stratejileri geliştirilmelidir. Örneğin, bir sistemin gerilim sarkma profili, gerilim sarkma sayısı ve müşteri yerinde hassas bölgenin tahminiyle elde edilebilir. Müşteriler tarafından görülen gerilim sarkmalarının sıklığı alternatif transformatör bağlantı şekilleriyle azaltılabilir. Sistem yapısında değişikliğe gitmek yerine arızalar açısında hassas olan bölgelere gerilim sarkma etkisini azaltıcı cihazlar yerleştirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Dugan R. C., "Electrical Power Systems Quality", McGraw – Hill, 2002.
- [2] "IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality", IEEE Standard 1159-1995, New York, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 1995.
- [3] Pérez, N.L., and Donsión, M.P., "Technical Methods for the Prevention and Correction of Voltage Sags and Short Interruptions inside the Industrial Plants and in the Distribution Networks". Paper presented at The International Conference on Renewable Energy and Power Quality (ICREPQ'03), Vigo, Spain. Retrieved from <http://www.icrepq.com/>, 2003.
- [4] Bollen, M.H.J., "UNDERSTANDING POWER QUALITY PROBLEMS Voltage Sags and Interruptions", New York: IEEE Press, 2000.
- [5] Bollen, M.H.J., "Method of Critical Distances for Stochastic Assessment of Voltage Sags", IEEE Proceedings Generation, Transmission and Distribution, vol.145 Issue: 1, pp. 70 –76, Jan., 1998.
- [6] Bollen, M.H.J., "The influence of motor reacceleration on voltage sags" IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 31, no. 4, pp. 667-674., July 1995.
- [7] http://www.inter-teknik.com/tr/dokumanlar/ortagerilim_Sigorta_busonlari.pdf, Erişim Tarihi: 10.05.2015.
- [8] Elektrik-Elektronik Teknolojisi, Koruma röleleri 1 (523EO0169), Ankara, MEB, 2012.
- [9] Elektrik-Elektronik Teknolojisi, Koruma röleleri 2 (523EO0170), Ankara, MEB, 2012.
- [10] Electromagnetic Compatibility (EMC), part 4. Testing and measurement protocols. Section 11. Voltage Dips, short interruptions and voltage variations immunity tests. IEC Document 61000-4-11
- [11] Xiyu Liu, "Grounding System of an Uninterruptible Power System (UPS)", Telecommunications Energy Conference, INTELEC 2008. IEEE 30th International , 2008.

- [12] Sang-Yun Yun, Jae-Chul Kim. "An Evaluation Method of Voltage Sag using a Risk Assessment Model in Power Distribution Systems." Elsevier Science LTD, Electrical Power and Energy Systems 25, pages pp. 829_839, 2003.
- [13] Gencer Ö., Öztürk S., Yeğın E.M., Karaarslan K., "Gerilim düşümü kompanze yöntemleri", 2010.
- [14] Alshamali M., Fox. B. "Unsymmetrical Faults and Their Potential for Noisance Tripping of Embedded Generators, Developments on Power System Protection", Conference Proceeding, pp 238-241, 2001.
- [15] P. W. Sauer, M.A.Pai, "Power System Dynamics and Stability", Prentice Hall, New Jersey, 1998.
- [16] Bollen, M.H.J., L.D. Zhang, "Different Methods for Classification of Three-Phase Unbalanced Voltage Dips due to Faults.", Elsevier Science S.A, Electric Power System Research 66, pages pp.59_69, 2003.
- [17] Patne, Nita R. , Tharke, K. L." Effect of transformer on stochastic estimation of voltage sag due to faults in the power system: aPSCAD/EMTDC simulation", Turk J Elec Eng & Comp Sci, Vol.18, No.1,Tübitak, 2010.
- [18] Yao K., "Modeling Voltage Sags on Utility and Industrial Power Systems", Alberta, 2000.
- [19] Conrad, L., Little, K., Grigg, C., "Predicting and preventing problems associated with remote faultclearing voltage dips", IEEE Trans. on Ind. Appl., 27, 1, 167–172, Jan., 1991.
- [20] Arifođlu, U. "Matlab 7.6 Simulink ve Mühendislik Uygulamaları", AlfaYayınları, İstanbul, 2008.
- [21] Cristaldi L., Ferrero H., "Harmonic Power Flow Analysis for the Measurement of the Electric Power Quality", IEEE Transactions on Instrumentation and measurement, Vol 44, No 3, June 1993.

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Çeçen, 24.05.1988 de Karaman'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Karaman'da tamamladı. 2006 yılında Karaman Süper Lisesi'nden mezun oldu. 2007 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünü 2011 yılında bitirdi. Şu anda Muş Alparslan Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.